

AUS DEM MEDIZINISCHEN ZENTRUM FÜR ZAHN-, MUND UND
KIEFERHEILKUNDE

Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Roland Frankenberger
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg
in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH,
Standort Marburg, Abteilung für Zahnerhaltungskunde

**Auswirkungen der artifiziellen Alterung von
Fissurenversiegeln
auf kariesbedingte Fluoreszenzwerte in vitro**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde

dem Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Christine Fuchs
aus Makinsk, Kasachstan
Marburg, 2016

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
am: 31.10.2014

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches

Dekan: Herr Prof. Dr. H. Schäfer

Referent: Herr Prof. Dr. A. Braun

Korreferent: Frau Prof. Dr. C. Knabe-Ducheyne

Meinen Eltern,
Oma Lisa & Opa Viktor
und Alwina
gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG.....	3
1.1	Einführung	3
1.2	Theoretischer Hintergrund.....	4
1.2.1	Aufbau des Zahnes	4
1.2.2	Kariesätiologie	5
1.2.2.1	Fissuren- und Grübchenkaries.....	7
1.2.2.2	Epidemiologie der Okklusalkaries	8
1.2.3	Kariesdiagnostik.....	9
1.2.3.1	Visuelle und taktile Kariesdiagnostik.....	10
1.2.3.2	Röntgenologische Kariesdiagnostik.....	11
1.2.3.3	FOTI.....	12
1.2.3.4	Elektrische Widerstandsmessung	13
1.2.3.5	Fluoreszenzmessungen	14
1.2.4	Präventive Maßnahmen zur Vermeidung von Fissurenkaries	21
1.2.4.1	Mundhygiene	22
1.2.4.2	Fluoride.....	23
1.2.4.3	Chlorhexidinhaltiger Lack.....	25
1.2.4.4	Ozon	26
1.2.4.5	Xylit.....	26
1.2.4.6	Fissurenversiegelung.....	27
1.3	Ziel der Arbeit.....	31
2.	MATERIAL UND METHODE	32
2.1	Material.....	32
2.1.1	Auswahl und Reinigung der Versuchszähne	32
2.2	Versuchsdesign	33
2.2.1	Auswahl der Messpunkte	34
2.2.2	Einteilung der Versuchsgruppen	35
2.2.3	Versiegler-Gruppen.....	35
2.3	Methode	36
2.3.1	Laserfluoreszenzmessungen mit Diagnodent und Diagnodent Pen.....	36
2.3.2	Laserfluoreszenzaufnahmen mit der VistaCam iX.....	37
2.3.3	Versiegelung der Versuchszähne	39
2.3.4	Artifizielle Alterung der Zähne im Kausimulator	41
2.3.5	Statistische Auswertung	41
3.	ERGEBNISSE	43
3.1	Auswertung der Messungen mit Diagnodent und Diagnodent Pen	43

3.2	Auswertung der Messungen mit der Vista Cam iX	45
3.2.1	Mittelwerte	45
3.2.2	Messpunkt A	46
3.2.3	Messpunkt B	47
3.2.4	Messpunkt C	48
3.3	Zusammenfassung der Auswertung	49
4.	DISKUSSION	50
4.1	Methodendiskussion	50
4.1.1	Auswahl, Lagerung und Reinigung der Zähne	50
4.1.2	Fissurenversiegelung als Teil des zahnärztlichen Prophylaxeprogramms	50
4.1.3	Auswahl der Diagnostikmethoden	51
4.1.4	Studiendesign	53
4.2	Ergebnisdiskussion	53
4.3	Klinische Schlussfolgerung	56
5.	ENGLISCHE ZUSAMMENFASSUNG	58
6.	DEUTSCHE ZUSAMMENFASSUNG	59
7.	LITERATURVERZEICHNIS	60
8.	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	73
9.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	74
10.	TABELLENVERZEICHNISS	75
11.	MATERIALLISTE	77
12.	DANKSAGUNG	78
13.	VERZEICHNIS DER AKADEMISCHEN LEHRER	79
	ANHANG	80

1. EINLEITUNG

1.1 Einführung

Obwohl seit Beginn der achtziger Jahre in den Industrienationen ein starker Kariesrückgang der kindlichen und jugendlichen Bevölkerung vermerkt wird, stieg die Kariesprävalenz für die Fissurenkaries unter Kindern und Jugendlichen auf bis zu 90% aller kariösen Läsionen [Lussi et al., 1995; WHO, 2003; Marthaler 2004]. Trotz guter Mundhygiene, ausgewogener Ernährung und regelmäßiger Fluoridierungsmaßnahmen ist die Fissurenkaries nicht immer zu verhindern [Trummeler & Trummeler, 1989]. Die prophylaktische Versiegelung von Molaren und Prämolaren ist daher fester Bestandteil im zahnärztlichen Praxisalltag geworden. Zahlreiche Untersuchungen haben den kariesprophylaktischen Effekt der Fissurenversiegelung nachgewiesen [Riethe 1988; Trummeler & Trummeler, 1990; Irmisch, 1992; Heinrich-Weltzien et al., 1998]. Jedoch müssen trotzdem regelmäßige Kontrollen wahrgenommen werden, um Versiegelungen evtl. zu reparieren oder auszutauschen. Wenn die Versiegelung nicht randständig ist oder Retentionsnischen durch Abnutzung entstehen, kann dies wieder zu einem aktiven Kariesprozess führen [Simonsen, 2002]. Auch die „hidden caries“ wird zunehmend ein Begriff im Praxisalltag, die es zu vermeiden gilt. Verschiedene neue Diagnostikmethoden wie Diagnodent und die VistaCam iX ermöglichen eine suffiziente Kariesdiagnostik, auch unterhalb einer intakten Schmelzoberfläche. Um diese Fluoreszenzdiagnostiken zur Kariesprogredienzbestimmung auch an versiegelten Zähnen anzuwenden, dürfen Versiegler keinen Einfluss auf die Fluoreszenzwerte nehmen.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde die Auswirkung einer in-vitro Abnutzung von Fissurenversiegler auf kariesbedingte Fluoreszenzwerte untersucht. Ein neuer Nanopartikel-gefüllter Versiegler wurde hierbei mit vier, bereits auf dem Markt erhältlichen Versiegler verglichen. Die Arbeit ist in vier Teile gegliedert. Zunächst werden in der Einleitung Grundlagen der Ätiologie und Epidemiologie der okklusalen Karies erörtert und verschiedene Verfahren zur Prävention, sowie Diagnose der Fissurenkaries vorgestellt. Im folgenden methodischen Teil wird die Vorgehensweise der Versuchsreihen erläutert, um darauf aufbauend die Ergebnisse darzustellen. Die Arbeit schließt mit einer kritischen Methoden-, und Ergebnis-Diskussion ab.

1.2 Theoretischer Hintergrund

1.2.1 Aufbau des Zahnes

Zum besseren Verständnis soll der Aufbau und die einzelnen Strukturen des Zahnes veranschaulicht werden (Abb. 1). Der weitaus größte Teil des menschlichen Zahnes besteht aus Dentin (lat.: *Substantia eburnea*), auch Zahnbein genannt. Es bildet den ersten „Schutzmantel“ für die in ihm liegende Pulpa [Hellwig et al., 2013]. Im Kronenteil wird das

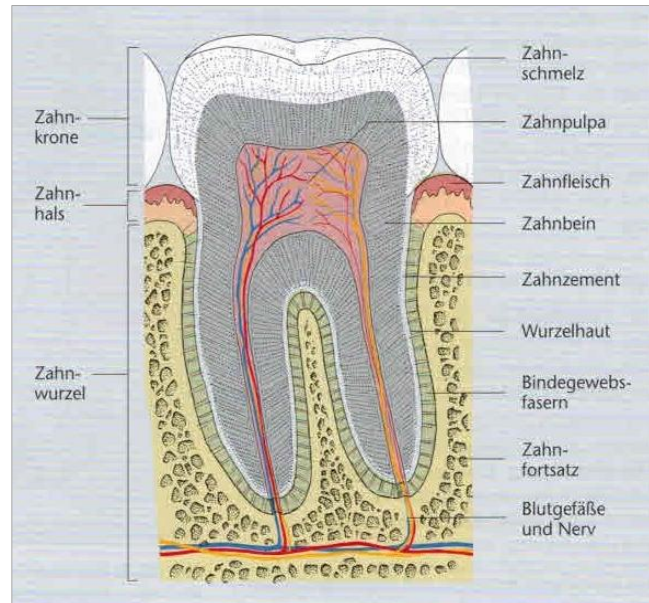


Abbildung 1: unterer Molar mit erkennbaren Schichten, Anbindung an Nerven- und Gefäßnetz, sowie angedeuteter Fissur (Huch & Jürgens, Mensch Körper Krankheit 2011).

vom Zahnschmelz (lat.: *Enamelum*) und im Wurzelbereich vom Zahnzement bekleidet. Schmelz, Dentin und Zement stellen gemeinsam die Zahnhartsubstanz des menschlichen Zahnes dar [Pschyrembel, 2002]. Der Zahnschmelz ist zu 98% anorganisch [Nikiforuk, 1985] und stellt damit die härteste Substanz des menschlichen Körpers mit einer Vickershärte von 250-550. Weitgehend besteht er aus Phosphat bzw. Kalziumphosphat- Hydroxylapatit- Kristalliten ($[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}]_x2$) [Heidemann, 2005]. Sie bilden sogenannte Prismen, die von der Schmelz-Dentin-Grenze bis zur Schmelzoberfläche verlaufen [Hellwig et al., 2013]. Außerdem enthält der Schmelz Verbindungen aus Kalzium, Phosphor, Magnesium und Natrium. Auch Proteine und Fette sind am Aufbau beteiligt. Da das Dentin über einen deutlich höheren Anteil an organischer Substanz verfügt (Elastizitätsmodul 15000-20000 MPa), ist es im Vergleich zum Schmelz (Elastizitätsmodul 50000-85000 MPa) [Körber, 1980] wesentlich elastischer und bildet somit eine Art Polster zum Abfangen des Kaudrucks. Obwohl Dentin zu 20% aus organischer Matrix besteht (v.a. Typ I Kollagen, nicht-kollagene Komponenten, Lipide, Proteinverbindungen, Zitrat, Laktat, Chondroitinsulfat) [Schroeder, 1997, 2000], besitzt es keine Zellen, sondern wird von einem radiären Netzwerk aus Kanälchen (lat.: *Tubuli dentinales*) durchzogen [Schumacher, 1990]. In diesen Dentinkanälchen liegen die Zellfortsätze der Odontoblasten. Sie sind Dentin bildende Pulpazellen, welche den Pulpenhohlraum auskleiden [Lehmann et al., 2002]. Zu 70% besteht das Dentin aus anorganischem

Hydroxylapatit und geringeren Mengen an Fluor, Magnesium sowie Spurenelementen. Die restlichen 10% sind Wasser [Schroeder, 1997].

Das Wurzelzement ist in seiner Struktur und Härte dem menschlichen Knochen ähnlich, ist jedoch nicht vaskularisiert. Es ist Bestandteil des Zahnhalteapparates, da an ihm die parodontalen Fasern ansetzen, die die Zähne in der Alveole beweglich verankern [Hellwig et al., 2013].

Der Hauptbestandteil der Pulpa, auch Zahnmark genannt, ist locker gefügtes Bindegewebe mit zahlreichen Zellen, interzellulärer Grundsubstanz, retikulären wie auch kollagenen Fasern und nicht zuletzt auch Nerven und Blut-, sowie Lymphgefäßen [Hellwig et al., 2013].

1.2.2 Kariesätiologie

Karies ist die häufigste Erkrankung der Zahnhartgewebe und führt, sofern die Ursache nicht beseitigt wird, zu einem irreversiblen Zahnhartsubstanzverlust. 1898 stellte *Miller* erstmals die chemoparasitäre Theorie der Kariesentstehung („Zahnfäule“) auf [Miller, 1889; Lehmann et al., 2002; Hellwig et al., 2013]. Mikroorganismen der Mundhöhle produzieren dabei, durch enzymatischen Abbau aus Kohlenhydraten, organische Säuren, die die Zahnhartsubstanz entmineralisieren [Hellwig et al., 2013]. Fünfzig Jahre später bestätigten *Orland et al.* diese Vermutung in umfangreichen tierexperimentellen Untersuchungen. Keimfrei aufgezogene Ratten entwickelten trotz stark kariogener Kost keine Karies, wohingegen die Kontamination mit bestimmten Bakterienstämmen zur Bildung kariöser Läsionen führte [Orland et al., 1954]. Diese Versuche zeigen ebenso wie die klinischen Experimente von *von der Fehr et al.* [1970] die entscheidende Rolle der Mikroorganismen bei der Kariesentstehung. 1962 griff *Keyes* diese Hypothese wieder auf, um die Kariesentstehung als Zusammenspiel dreier Faktoren weiterzuentwickeln: Zahnhartsubstanz als Wirt, niedermolekulare Kohlehydrate als Substrat und kariogene Mikroorganismen als Säurelieferanten [Keyes, 1962].

König et al. [1968] fügten 6 Jahre später, nach eigenen Versuchen mit zeitprogrammiert gefütterten Ratten, die Zeit als vierten obligaten Faktor hinzu (Abb.2).

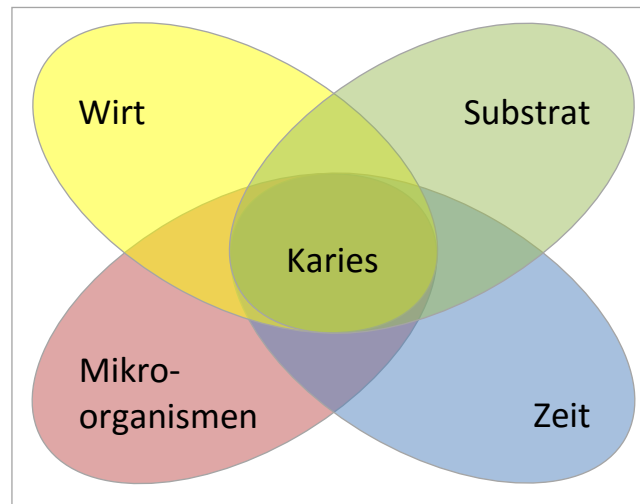


Abbildung 2: Kariesentstehungsmodell

Fehlt einer dieser Faktoren, so entsteht keine Karies. Daraus zog *Axelsson* [1989] den Schluss: „Karies ist vermeidbar“. Als sekundäre Faktoren der Kariesentstehung sind heute Speichelfluss und Speichelzusammensetzung, Dauer und Häufigkeit der Substratzufuhr, Immunabwehr, genetische und sozioökonomische Faktoren sowie Zahnfehlstellungen und -bildungen anerkannt [Lehmann et al., 2002; Hellwig et al., 2013]. Die Entstehung einer kariösen Läsion kann folgendermaßen zusammengefasst werden: Zahnplaquebakterien, speziell *Streptococcus mutans* und Lactobazillen (Mikroorganismen), verstoffwechseln kohlenhydrathaltige Nahrung (Substrat) unter anderem zu organischen Säuren, welche einen Abfall des pH-Wertes in Bereichen der Plaqueschicht bedingen. Infolgedessen lösen sich Calcium- und Phosphationen aus dem Schmelz (Wirt) und wandern in die bakterielle Plaque (Demineralisation). Der Speichel wiederum verdünnt und neutralisiert die Säure und damit den pH-Wert, was zu einer Übersättigung von Calcium- und Phosphationen in der Plaqueschicht führt. Es findet eine umgekehrte Ionenbewegung zurück in den Schmelz statt (Remineralisation). Diesen ständigen Wechsel zwischen De- und Remineralisation bezeichnete *Levine* [1977] als „Ionenwippe“. Sie ist Basis des heutigen dynamischen Karieskonzeptes. Denn erst wenn dieses physiologische Gleichgewicht zu Gunsten der Demineralisationsphasen kippt, entsteht eine zunächst mikroskopische Läsion, die im weiteren Verlauf auch klinisch festzustellen ist [Levine, 1977; Silverstone, 1977].

1.2.2.1 Fissuren- und Grübchenkaries

Bei der Kariesanfälligkeit okklusaler Fissuren können mehrere Faktoren eine Rolle spielen. Zum einen besteht in den ersten Jahren nach dem Zahndurchbruch eine allgemein erhöhte Wahrscheinlichkeit für die Entstehung von Schmelzkaries, da die posteruptive Schmelzreifung noch nicht abgeschlossen ist [Crabb, 1976]. Zum anderen liegt jedoch, selbst nach abgeschlossener Reifung die Dicke des Schmelzmantels am Fissurenfundus bei nur 0,2 mm. Da die Dicke des Schmelzes der Karies entgegensteht, bietet die Schmelzschicht in der Fissur lediglich ein kurzzeitiges Hemmnis für die Kariesinitiation [Rohr et al., 1991].

Außerdem soll eine begrenzte kariesprotektive Fluoridwirkung in der Fissur eine Rolle spielen [Pearce et al., 1999]. Dies führt abschließend zur wichtigen Bedeutung der Fissurenmorphologie für die Entstehung der Karies. Bereits 1963 und 1966 wurde diese von *König* als wichtiger Faktor im Bezug auf Ort und Beginn einer kariösen Läsion beschrieben. Die Okklusalfäche eines Molaren hat eine von engen Tälern zerfurchte Oberfläche. Ihre typischen Merkmale sind Höcker und Fissuren. Kariöse Prozesse befinden sich vor allem im unteren Bereich der Fissur [Juhl, 1983] und beginnen bei unterschiedlichen Fissurentypen gehäuft an bestimmten Lokalisationen innerhalb der Fissur:

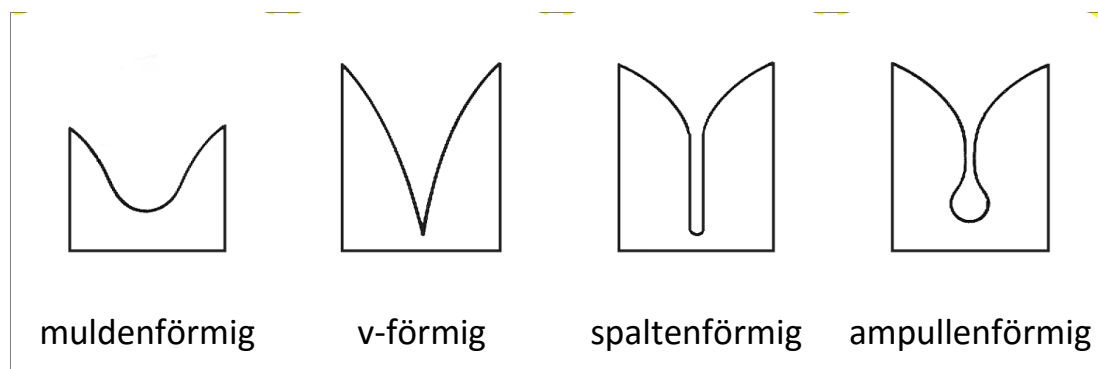


Abbildung 3: verschiedene Möglichkeiten der Fissurenmorphologie (Hellwig et al., 2013)

Laut *Nagano* [1961] beispielsweise sind dies beim V-Typ (weiter Eingangsbereich, schmaler Fissurengrund) der Fissurengrund, beim U-Typ (Breite gleichbleibend) der mittlere Bereich und beim I- (schmaler Spalt) und IK-Typ (schmaler Spalt, im Grund erweitert wie Ampulle) der Eingangsbereich (Abb. 3).

Eine ungünstige Fissurenanatomie erschwert eine vollständige Plaqueentfernung im Fissurenfundus oder macht sie teilweise sogar unmöglich [Gängler & Arnold, 2005]. Es

handelt sich also um Kariesprädispositionsstellen [Hellwig et al., 2013]. Neben den Veränderungen im Kariesaufkommen (s. Kap. 1.2.2) wurde auch ein verändertes klinisches Erscheinungsbild der Okklusalkaries festgestellt. Dabei gilt die sogenannte „hidden caries“ als besonders problematische kariöse Läsion. *Weerheijm et al.* [1997] definierten dieses Phänomen als Dentinkaries, bei der keine klinischen Anzeichen einer kariösen Läsion zu beobachten sind [Ekstrand et. al., 1997; Ricketts et. al., 1997a]. Im Röntgenbild zeigen sie sich jedoch als deutlich umschriebene Radioluzenz unter intakter Schmelzoberfläche [Eckstrand et al., 2001]. Die versteckte Karies macht 15 % bis 50 % aller okklusalen Läsionen im Molarenbereich aus [Weerheijm et al., 1992; Gängler & Arnold, 2005]. Einer der Gründe für die „hidden caries“ könnte die verbreitete Anwendung fluoridhaltiger Produkte sein [Lussi, 1993; Weerheijm et al., 1997]. *Lussi* [1993] erwähnt die Möglichkeit, dass Fluorapatit über die Förderung von Remineralisationsvorgängen in der Schmelzschicht eine darunter liegende, voranschreitende Dentinläsion verhüllen könnte.

1.2.2.2 Epidemiologie der Okklusalkaries

Zu Beginn der achtziger Jahre wird erstmals in den Industrienationen über einen starken Kariesrückgang der kindlichen und jugendlichen Bevölkerung berichtet [WHO, 2003; Marthaler, 2004]. Dieser sogenannte „caries decline“ hat sich bis heute fortgesetzt. In zahlreichen Studien konnte dieser Trend in den beiden vergangenen Jahrzehnten auch deutschlandweit auf nationaler und regionaler Ebene nachgewiesen werden [Pieper, 1986, 1995, 1996, 1997, 1998, 2001, 2005; Künzel et al., 2000; Pieper & Schulte, 2004; Jablonski-Momeni et. al., 2007].

Beispielsweise ermittelte eine Studie der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnspflege [Pieper, 2010] im Zeitraum zwischen 1994/95 und 2009 für die Altersgruppe der Sechs- bis Siebenjährigen einen Kariesrückgang von 35,3%. Bei den Zwölfjährigen betrug der Rückgang sogar 70,5 %. Bei insgesamt sinkender Kariesprävalenz unter Kindern und Jugendlichen ist jedoch der Anteil der Fissurenkaries auf 75–90% aller kariösen Läsionen gestiegen [Lussiet al., 1995]. Eine Zunahme kariöser Läsionen wird mit steigendem Alter beobachtet. Dieser Trend und die ungleiche Verteilung des Kariesaufkommens [Schiffner et al., 2009] innerhalb einzelner Altersgruppen wurden beispielsweise in der Erfurter Kariesrisiko Studie [Baake, 2003] bestätigt: Wurde dort bei 7- bis 8-jährigen (1993) noch ein DMFS-Wert von 1,3 ermittelt, so verfünffachte sich dieser bis zum 15. Lebensjahr (1999) auf 7,5

DMFS [Heinrich-Weltzien et al., 2002]. Obwohl die Okklusalfächen des permanenten Gebisses nur 12,5% der gesamten Zahnoberfläche ausmachen, werden über 60% bis 90% der Restaurationen bei Dreizehn- bis Fünfzehnjährigen im Bereich der Fissuren und Grübchen gelegt [Wendt & Koch, 1988; Hannigan et. al., 2000; Kühnisch et al., 2003]. Erst später findet eine Verlagerung der typischen Lokalisation kariöser Läsionen statt, welche dann häufiger im Approximalbereich auftreten [Mejàre et al., 1998]. Damit wird deutlich, dass die bleibenden Molaren und deren Fissuren bzw. Grübchen die Zähne bzw. Zahnflächen mit der höchsten Kariesgefährdung im Kindes- und Jugendalter sind und präventive Maßnahmen in dieser Zeit keine unwesentliche Rolle spielen.

1.2.3 Kariesdiagnostik

Kariesdiagnostik stellt in der Zahnmedizin eine der primären Aufgaben dar [Jablonski-Momeni et al., 2013]. Entsprechend der Erkenntnisse, die im oberen Kapitel beschrieben wurden, muss die Fissurenkaries häufig diagnostiziert werden [Truin et al., 1994]. Die Diagnostik ist schwierig, weil sich unter einer scheinbar intakten Oberfläche Dentinkaries befinden kann. Die in Kap. 1.2.2.1 erläuterte „hidden caries“ kommt bei ungefähr 10%–50% der Molaren vor [Creanor et al., 1990; Kidd et al., 1992; Weerheijm et al., 1992]. Diese Veränderungen im klinischen Kariesbild erfordern eine Umstellung der Diagnostik, Prävention und Therapie [Young, 2002]. Diagnosestellungen erfolgten in der Vergangenheit mittels visueller Inspektion, Licht und unter Zuhilfenahme einer Sonde [Newbrun et al., 1959; Rock & Kidd, 1988; Lussi et al., 1995; 1999a]. Der technische Fortschritt ermöglicht seit einiger Zeit die Entwicklung von geeigneteren Hilfsmitteln, welche die Diagnostik vereinfachen und präzisieren [Pretty, 2006; Eberhart et al., 2007]. Darüber hinaus sollen sie die Entscheidung bezüglich der richtigen Therapieform objektivieren beziehungsweise standardisieren. Zur korrekten Therapieentscheidung wird häufig als weitere Hilfestellung ein Überblick über den Verlauf der Krankheit benötigt. Ein Langzeitmonitoring wird erforderlich, das eventuellen Fortschritt, Stagnation oder Rückgang einer initialen Karies dokumentiert und somit Therapieerfolge oder Misserfolge einer nicht invasiven Therapie frühzeitig sichtbar macht. Das heißt also, dass die Reproduzierbarkeit unterschiedlicher diagnostischer Systeme gewährleistet sein muss [Hellwig et al., 2013].

1.2.3.1 Visuelle und taktile Kariesdiagnostik

Auch heute noch stellt diese traditionelle Methode in der Kariesdiagnostik die primäre Untersuchungsmethode dar [Heinrich-Weltzien et al., 2003], auf deren Basis Entscheidungen zur Therapie oder den weiterführenden diagnostischen Maßnahmen getroffen werden. Die reine visuelle Untersuchung birgt jedoch die Gefahr des Übersehens kariöser Prozesse, sodass in diesem Fall eventuell keine genaueren diagnostischen Mittel herangezogen werden. Außerdem geht man heute davon aus, dass durch Sondierungen Zahnhartsubstanz geschädigt werden kann [Ekstrand et. al., 1987; Lussi, 1991; 1993; Kühnisch et. al., 2007c]. Laut *Lussi* [1991] soll die taktile Sondierung mit der spitzen Sonde, im Vergleich zur rein visuellen Inspektion, keinen weiteren Informationsgewinn erbringen. Es kann sogar zu falschen Interpretationen des "Steckenbleibens" in der Fissur kommen, welches aufgrund der Fissurenanatomie zum Teil rein physiologisch ist [Rock & Kidd, 1988; Lussi et. al., 1995]. Die Verwendung der spitzen zahnärztlichen Sonde wird heute also nicht mehr empfohlen [Pitts, 2001]. Laut WHO [2003] sollte zur taktilen Kariesdiagnostik die abgerundete CPI- bzw. Parodontalsonde dienen. Die stumpfe Sonde kann des Weiteren zum drucklosen Abtasten der Zahnoberfläche verwendet werden, um Informationen über die Oberflächenbeschaffenheit bzw. -Rauigkeit zu erhalten. Als visuelle Methoden haben die von *Ekstrand et al.* [1997] und *Nyvad et al.* [1999] vorgeschlagenen Diagnostiksysteme in den vergangenen Jahren ihren Einsatz im Rahmen von wissenschaftlichen Untersuchungen gefunden. Das fünfstufige System von *Ekstrand et al.* [1997] beruht auf Farb- und Strukturveränderungen der Zahnhartsubstanz. *Nyvad et al.* [1999] gehen in ihrem sechsstufigen Klassifikationssystem auch auf die Aktivität einer Läsion ein. Hierbei werden vor allem Farbe und Oberflächenbeschaffenheit herangezogen, um zwischen aktiven und inaktiven Läsionen zu unterscheiden. Mit der aktuell verstärkten Hinwendung zur visuellen Diagnostik flossen die Erfahrungen mit diesen Systemen 2003 in die Entwicklung des International Caries Detection and Assessment System (www.icdas.org) ein.

Auch der DMF-Index [WHO, 2003] wurde über das universelle visuelle Scoring System (UniViSS) um nicht eingebrochene kariöse Läsionen ergänzt und soll damit die gesamte Breite der zu beobachtenden Vielfalt an kariösen Läsionen erfassen (www.UniViSS.net). Unabhängig von den verwandten Diagnostikkriterien muss die visuelle Untersuchung obligat an gereinigten und getrockneten Zahnflächen

vorgenommen werden. Vergrößerungshilfen werden hierzu als hilfreich eingeschätzt [Kühnisch et. al., 2010].

Durch diese Graduierungssysteme, deren Ziel es war, visuelle Kariesdiagnostik aussagekräftiger zu machen bzw. die Kommunikation entsprechender Befunde zu vereinfachen, wurde die gewünschte Objektivierung der Diagnostik bisher nicht erreicht. Sie hängen immer von der rein visuellen und somit subjektiven Beurteilung des Zahnarztes ab. Die erforderliche Reproduzierbarkeit zur Kontrolle einer nicht invasiven Therapie durch eine rein visuelle Beurteilung ist somit nicht zufriedenstellend gewährleistet [Hellwig et al., 2013]. Deswegen und aufgrund des Wandels der Erscheinung einer okklusalen Fissuren- oder Grübchenkaries sollten diagnostische Alternativen herangezogen werden [Kühnisch & Goddon, 2003].

1.2.3.2 Röntgenologische Kariesdiagnostik

Die röntgenologische Kariesdiagnostik gehört zum zahnärztlichen Alltag. Sie ist eine bewährte Methode bei der Diagnose von dentalen Erkrankungen [Kühnisch et al., 2007a]. Vor allem Bissflügelröntgenaufnahmen im Milch- und bleibenden Gebiss sind zur Erfassung approximaler Läsionen die Methode der Wahl. Die rechtfertigende Indikation muss jedoch unter Berücksichtigung der Strahlenexposition [RöV, 2013] sorgfältig gestellt werden [Espelid et al., 2003; European Commission, 2004]. Der Nutzen von Bissflügelaufnahmen zur Kariesdiagnostik im Bereich des Fissurenreliefs ist demgegenüber eher problematisch [Lussi & Francescut, 2003]. Vergleichende klinisch-röntgenologische Untersuchungen zeigten, dass mit Bissflügelaufnahmen an bis zu 50% aller Molaren „versteckte“ okklusale Dentinläsionen bei Kindern und Jugendlichen diagnostiziert werden können. Dies macht bereits vorhandene Aufnahmen zu einem wertvollen ergänzenden Untersuchungsverfahren bei der Detektion von okklusalen Dentinläsionen [Creanor et al., 1990; Kidd et al., 1992; Weerheijm et al., 1992a]. Allerdings können an den okklusalen Fissuren und Grübchen nur kariöse Läsionen auf dem Dentinniveau detektiert werden. Bei einer so weit fortgeschrittenen Läsion liegt, im Vergleich zur nicht röntgensichtbaren Karies, aber bereits eine stärkere Besiedelung mit Bakterien wie Laktobazillen und Mutansstreptokokken vor [Ricketts et al., 1995]. Die Diagnostik okklusaler Schmelzläsionen mittels Röntgenaufnahmen ist wegen Überlagerungen nur sehr eingeschränkt möglich. Da die Fissurenkaries folglich erst in einem verhältnismäßig weit fortgeschrittenen Stadium röntgenologisch

nachgewiesen werden kann, wird seit längerer Zeit nach neuen Methoden für die Kariesdiagnostik gesucht. Neben Techniken, die u.a. auf Widerstandsmessungen beruhen [Côrtes et al., 2003], konnten hier vor allem Methoden auf Basis der Fluoreszenzdetektion entwickelt und mittlerweile klinisch erprobt werden [Lussi et al., 1999; Heinrich-Weltzien et al., 2002]. Wenn die visuelle Kariesdiagnostik zu keinem eindeutigen Ergebnis führt und Bissflügelröntgenaufnahmen nicht verfügbar sind, befürworten einige Autoren die Laserfluoreszenzmessung als ergänzendes Verfahren an Fissuren und Grübchen [Lussi, 2000; Lussi et al., 2001]. Durch den Einsatz dieser neuen Methoden werden bestehende Nachteile der Röntgendiagnostik, wie das Übersehen von Schmelzkaries und vor allem die Strahlenbelastung vermindert.

1.2.3.3 FOTI

Die **F**iber**O**ptische **T**rans**I**llumination (FOTI) oder Diaphanoskopie wurde ursprünglich zur Diagnostik von Approximalkaries entwickelt [Menzel & Bordes, 1974]. Sie gehört zu den Intensitäts-basierten Verfahren, bei denen für Anregung und Auswertung die gleiche Wellenlänge genutzt wird. Mittels einer Kaltlichtsonde wird hierbei der zu untersuchende Zahn durchleuchtet. Das System basiert auf der veränderten Lichtdurchlässigkeit kariöser Läsionen gegenüber intakter Zahnhartsubstanz, aufgrund der erhöhten Porosität der Zahnhartsubstanz in erkrankten Bereichen. Das führt an den Grenzflächen zu einem veränderten Brechungsindex im Vergleich zum gesunden Gewebe, bei dem vermehrt Licht gestreut wird [Peltola & Wolf, 1981]. Klinisch erscheint bei kariösem Schmelz aber vor allem bei kariösem Dentin im Durchlicht ein dunkler Fleck [Pieper, 1986]. Laut *Heidemann et al.* [2005] soll die fiberoptische Transillumination aber kein gutes Hilfsmittel in der Diagnostik der Okklusalkaries sein. Studien, wie von *Verdonschot et al.* [1992] beschrieben eine Sensitivität von nur 13% bei der Diagnostik von Fissurenkaries. Initiale Schmelzläsionen würden gar nicht aufgedeckt [Rock & Kidd 1988]. Ein weiterer Nachteil des FOTI ist die mangelnde Objektivität. Die Bewertung des Lichtintensitätsverlusts geschieht rein visuell und ist somit von dem Behandler abhängig [Bader et al., 2002]. Veränderungen können weder einfach dokumentiert noch reproduziert werden, wodurch eine aussagekräftige Verlaufskontrolle unmöglich ist. *Keem und Elbaum* [1997] sowie *Schneidermann et al.* [1997] greifen die Nachteile der Objektivität und Reproduzierbarkeit auf und entwickelten 1997, aufbauend auf dem FOTI das DIFOTI-Verfahren (**D**igital **F**iber

Optic Transillumination). Hierbei registriert eine intraorale Kamera das Lichtsignal des durchleuchteten Zahnes und wandelt es in ein elektronisches Signal um. So kann die Information von der mitgelieferten Software ausgewertet, dokumentiert und mit anderen Messungen verglichen werden. FOTI eignet sich folglich als zusätzliche Hilfestellung für die Kariesdiagnostik im Approximalbereich, jedoch nicht für den Gebrauch an Okklusalflächen.

1.2.3.4 Elektrische Widerstandsmessung

Auch die elektronische Widerstands-, oder Impedanzmessung funktioniert auf Grundlage der Porositätenbildung in der Zahnhartsubstanz. Gesunder Schmelz weist einen hohen elektrischen Widerstand auf. Kariöse Prozesse ändern jedoch diese physikalische Eigenschaft. Indem dem Schmelz durch die Demineralisation Mineralien entzogen werden, wird seine Funktion als elektrischer Isolator geschwächt. Die entstehenden Hohlräume nehmen daraufhin Wasser auf, welches eine sehr gute Leitfähigkeit besitzt. Je mehr Zahnhartsubstanz also zerstört und durch besser leitendes Wasser ersetzt wird, desto stärker sinkt der elektrische Widerstand [Lussi et al., 1995]. Die Sensitivität der ECM (Electrical Conductance Measurements) von 92 % bis 96 % wurde in mehreren Studien nachgewiesen [Verdonschot et al., 1992; Lussi, 1993; Lussi et al., 1995; Ricketts 1997b]. Dies bedeutet, dass nahezu alle kariösen Läsionen diagnostiziert werden. Unterscheidet man aber zwischen der Kavitätengröße, sinkt die Sensitivität bei initialen Läsionen auf nur noch 61 % [Ricketts et al., 1997b]. Häufig führt das dazu, dass es bei Erkennen der Karies schon zu spät für eine prophylaktische Intervention ist, um einen Zahnhartsubstanzverlust zu vermeiden. Hinzu kommt, dass die Spezifität in den gleichen Studien nur 77% betrug. 23% der gesunden Zähne wurden also als krank erkannt. Würde das ECM als einzige Diagnostik dienen, müsste man also eine Schädigung des Zahnes durch invasive Therapie befürchten. Weitere negative Aspekte sind der Zeitaufwand und die mangelnde Möglichkeit des Langzeitmonitorings. Die Messung pro Punkt dauert zehn Sekunden [Lussi et al., 1995] und muss meistens an mehreren Stellen des Zahnes vorgenommen werden. Um die Messwerte mit vorherigen oder nachfolgenden Werten zu vergleichen, müssten exakt dieselben Punkte auf dem Zahn reproduziert werden.

1.2.3.5 Fluoreszenzmessungen

In den letzten Jahrzehnten gewannen optische Technologien immer mehr an Bedeutung in Technik und Medizin [Eberhart et al., 2007]. Auch in verschiedenen zahnmedizinischen Fachdisziplinen wie Tumordiagnostik [Ebihara et al., 2003] und Parodontologie [Krause et al., 2003] werden vermehrt optische Detektions- und Messverfahren genutzt [Papadopoulos et al., 2002]. Der Einsatz von Laserfluoreszenzdiagnostik erleichtert bei richtiger Anwendung auch die Behandlungsentscheidung in der Kariesdiagnostik [Bader & Shugars, 2004]. Zudem ist die Möglichkeit gegeben, die Progredienz oder Stagnation einer fraglichen kariösen Läsion zu beobachten und die Effektivität einer prophylaktischen Behandlung zu beurteilen, so beispielsweise bei dem Versuch eine initiale Läsion durch Remineralisierungsmaßnahmen zu kurieren [Rudolph, 2005; Heyfelder, 2010]. Zuvor ist es wichtig, solche initialen Läsionen frühzeitig detektieren und beurteilen zu können [Folwaczny, 1998]. Ferner hat sich das Bild kariöser Läsionen gewandelt. Wie in Kap. 1.2.2.1 beschrieben, ist es immer wichtiger geworden, auch die sichere Diagnose der „hidden caries“ zu gewährleisten, um durch eine rechtzeitige therapeutische Intervention Schädigungen der Pulpa zu verhindern [Weerheijm et al., 1997]. Aufgrund dieser Problematiken wurde verstärkt auf dem Gebiet der verbesserten Kariesdiagnostik geforscht [Heinrich-Weltzien et al., 2002]. Von den neuen Systemen werden eine einfache und kostengünstige Durchführbarkeit, nicht-invasives Vorgehen, hohe diagnostische Güte, sowie eine valide Quantifizierung des kariösen Fortschritts mit der Möglichkeit eines objektiven Kariesmonitorings gefordert [Kühnisch et. al., 2006]. Hierbei erweist sich die fluoreszenzoptische Untersuchung als vielversprechendes und zuverlässiges diagnostisches Hilfsmittel, das minimalinvasive Therapiemethoden erst möglich und verantwortbar macht [Eberhart et al., 2007]. Somit werden Entscheidungen bezüglich einer richtigen Behandlungsmethode auf jedes Individuum abgestimmt [Geißler, 2010]. Unabhängig davon, welches System man nutzt, sollten die Zähne vor der Messung gereinigt werden, da es bei vorhandenem Zahnstein, Belag, verbliebenen Reinigungspasten, Verfärbungen aber auch bei Schmelzmineralisationsdefekten und Füllungs- bzw. Versiegelungsmaterialien zu falsch-positiven Ergebnissen kommen kann [Braun et al., 1999; Lussi et al., 1999; 2001]. Untersuchungen zur Zuverlässigkeit der Laserfluoreszenzmessung scheinen weitestgehend vielversprechend, wenn man sie korrekt anwendet [Lussi et al., 2004]. Auch in Bezug auf die Detektion okklusaler Läsionen zeigten klinische Studien gute Ergebnisse [Tonioli et al., 2002; Ebihara et al.,

2003]. Ausgehend von den physikalischen Grundlagen werden in den nächsten Kapiteln verschiedene Methoden der Fluoreszenzmessungen erläutert.

Physikalische Grundlagen

Mithilfe von Fluoreszenzstrahlung ist der Nachweis von Fissurenkaries, insbesondere von initialen Läsionen ohne Kavitätenbildung in den letzten Jahren einfacher und zuverlässiger geworden [Angmar-Månsson et al., 1993; Bader & Shugars, 2004]. Durch den Einsatz von energiereichem, ultraviolettem/blauem (405nm) oder rotem Licht (655nm) können sowohl Zahnschmelz, als auch Dentin zur Fluoreszenz angeregt werden [Hartles & Leaver, 1953; Krause, 2008]. Vor über hundert Jahren erkannte Stübel erstmals diese Eigenschaft der Zahnhartsubstanzen [Stuebel, 1911]. Unter Fluoreszenz versteht man die Absorption, also die Aufnahme von Licht einer bestimmten Wellenlänge im Zielmolekül mit spontaner, kurzzeitiger Emission von Licht mit einer größeren Wellenlänge. Durch die Absorption von Photonen werden Elektronen des jeweiligen Moleküls auf ein höheres Energieniveau gehoben. Aufgrund der Instabilität dieses Zustandes sinken die Elektronen kurz danach wieder auf ihr ursprüngliches Energieniveau. Dabei geben sie Energie ab, von der ein Teil als energieärmeres Fluoreszenzlicht emittiert [Lakowicz, 2006]. Abhängig von der Anregungswellenlänge würde ein gesunder Zahn, bei der Nutzung von blau-violetttem Licht, gelb-grünes Licht emittieren [Lagerweij et al., 1999]. Kariöse Läsionen zeichnen sich durch ein schwächeres Fluoreszenzleuchten aus und können dadurch von gesunder Zahnhartsubstanz unterschieden werden. Stoffe, die das Fluoreszieren induzieren bezeichnet man als Fluorophore. Die bei Rotlichtanregung entstehenden Fluoreszenzphänomene am kariös läsionierten Zahn sollen nicht durch die morphologischen Veränderungen, wie einer Demineralisation entstehen, sondern vielmehr ihren Ursprung in Stoffwechselprodukten der Karies relevanten Bakterien haben [König et al., 1998]. Bisher ist weder die genaue chemische Konfiguration dieser Porphyrinderivate bekannt, noch konnten alle verantwortlichen Porphyrine identifiziert werden, jedoch wurde vor allem das typische Fluoreszenzspektrum für Protoporphyrin IX vermehrt in kariösen Läsionen nachgewiesen [König et al., 1998]. Durch die Fluoreszenzverfahren können somit bakteriell kontaminierte Bereiche erkannt werden und anhand der Intensität des Fluoreszenzlichtes sogar der Grad der Gewebedestruktion des Zahnes ermittelt werden [Frentzen et al., 2004].

QLF

Ein Beispiel für eine klinische Anwendung in der Fluoreszenzdiagnostik ist das QLF™-System (**Q**uantitative **L**ight **F**luorescence). Im Rahmen der Kariesdiagnostik wird es insbesondere zur Detektion und Langzeitbeobachtung von Initiailläsionen an Glattflächen angewendet [Hafström-Björkman et al., 1992; Ando et al., 1997; Lagerweij et al., 1999; Tranaeus et al., 2002]. QLF-Systeme sind kamerabasierte Fluoreszenzmessgeräte, welche sich ebenfalls die Veränderungen des Fluoreszenzverhaltens und der Lichtstreuung von erkrankter gegenüber gesunder Zahnhartsubstanz zunutze machen. Die auch hier vernommene reduzierte Fluoreszenz bei kariöser Zerstörung, die mit dem Mineralverlust korreliert, wird mit einer Farbkamera erfasst und von der entsprechenden Software quantitativ ausgewertet [Heinrich-Weltzien et al., 2005]. Dabei wird, abhängig von der Variante des Systems, Licht der Anregungswellenlängen von 290–450 nm (ultraviolett-blau), 488 nm (grün) bzw. 514 nm (grün) genutzt. Die emittierenden Fluoreszenzbilder besitzen Wellenlängen von über 560 nm bzw. 520 nm. Nimmt die Fluoreszenzintensität um mehr als 5% ab, geht man von einer kariösen Läsion aus [Hafström-Björkman et al., 1992]. Das QLF-Verfahren detektiert somit erst die Demineralisierung durch die Abnahme der Fluoreszenz der gesunden Zahnhartsubstanz und ermöglicht eine Dokumentation entstandener Läsionen. Die reine Erfassung von Mikroorganismen, ohne dass es bereits zur Demineralisation kam, ermöglicht das System aber nicht, weswegen es zur prophylaktischen Anwendung nicht geeignet ist [Eberhart et al., 2007]. Zur Diagnostik der Fissurenkaries liegen bisher nur wenige Studien vor. Die Sensitivität des Verfahrens für die Detektion von okklusalen Läsionen wird zwischen 68 % und 91 % und die Spezifität zwischen 70 % und 91 % angegeben [Ifland et. al., 2004; Kühnisch et. al., 2006].

Diagnodent

Das unten dargestellte, auf dem Fluoreszenzphänomen basierende Diodenlasergerät (Abb. 4) emittiert rotes Licht von 655 nm Wellenlänge bei einer Leistung von 1 mW und ruft dadurch bei bis zu zwei Millimetern unterhalb der Zahnoberfläche eine Fluoreszenz hervor [Shi et al., 2000; Lussi et al., 2001; Tam & Mc Comb, 2001].



Abbildung 4: Diagnodent, KaVo Biberbach

Das Gerät besitzt zwei Aufsätze: eine kegelförmige Sonde „A“ für Fissuren und eine plane Sonde „B“ für Glattflächen. Beide Spitzen des Systems besitzen eine zentrisch angeordnete Faser, die das Anregungslicht emittiert und somit als Laserdiode fungiert, während neun zirkulär angeordnete Fasern die ankommende Fluoreszenz detektieren und an die Fotodiode weiterleiten [Lussi et al., 1999]. Ein Filter vor der Fotodiode blockiert Licht unterhalb von 680 nm Wellenlänge [Lussi et al., 2001]. Im Gerät selbst wird somit ausschließlich langwelliges Fluoreszenzlicht quantitativ ausgewertet. Reflektiertes Anregungslicht, Streustrahlung und andere Lichtquellen werden jedoch blockiert. Mit der Sonde wird die Zahnoberfläche punktuell beleuchtet. Dabei sollte das Abtasten der Fissur unter ständigen Pendelbewegungen ausgeführt werden, um das Übersehen von Läsionen zu verhindern [Eberhart et al., 2007]. Auf einem durch ein Kabel verbundenem Display werden neben dem aktuellen Messwert auch der Peak-Wert, also der Maximalwert der abgetasteten Stelle angezeigt (Abb. 4). Ein Pfeifton kann bei der Diagnostik fakultativ eingeschaltet werden. Die Frequenz dieses Tons steigt ebenso wie die Messwerte mit der Größe des Defekts [Lussi et al., 1999]. Die auf dem Display angezeigten Werte können zwischen 0 und 99 liegen [Mendes et al., 2004]. In Anhängigkeit des gemessenen Werts sollte über die therapeutischen Maßnahmen entschieden werden. Für eine invasive Therapie sprechen Werte über 30, während bei Werten zwischen 30 und 16 eine präventive Therapie empfohlen wird. Bei Messungen von 0 bis 15 sollten keine therapeutischen Maßnahmen erforderlich sein [Lussi et al., 1999]. Das Diagnodent-System ermöglicht einen zusätzlichen diagnostischen Weg bei fraglichen Fissuren [Eberhart et al., 2007]. Voraussetzung für seine Anwendung ist jedoch eine gute Reinigung der Zähne im Vorfeld und das Einfließen des klinischen Befunds in die Beurteilung der Werte, denn Beläge, Verfärbungen, Zahnstein,

verbliebene Reinigungspasten, Hypomineralisationen und Füllungsmaterialien können das Ergebnis beeinflussen. [Braun et al., 1999; Lussi et al., 1999; 2001; 2003; Krause et al., 2002]. Auch bei zu stark ausgetrockneten Zähnen kann es zu falsch-positiven Ergebnissen kommen [Braun et al., 2000]. Die Fluoreszenzmessung an Zähnen mit durchsichtigem Fissurenversiegler soll jedoch laut *Krause et al.* [2008] funktionieren und somit die Verlaufskontrolle trotz Versiegelung ermöglichen. Seit 1998 ist das Diagnodent kommerziell verfügbar. Seither konnte es sich für die klinische Kariesdetektion in zahlreichen Studien bewähren [Lussi et al., 2004; Bader & Shugars, 2004]. *Heinrich-Weltzien et al.* [2002] konnten hierzu in einer klinisch durchgeführten Studie zum Vergleich der visuellen, röntgenografischen und laseroptischen Diagnostik die Ergebnisse der klinischen Untersuchungen von *Lussi et al.* [2004] bestätigen. Mit einem Wert von $\kappa = 0,89$ lag die Reproduzierbarkeit im fast perfekten Bereich und auch die Sensitivität von bis zu 0,93 und Spezifität von 0,63 überzeugten. Schlussfolgernd ist das laserbasierte Diagnodent-Gerät ein hilfreiches Instrument zur nicht-invasiven Diagnostik, welches sogar die Erkennung von „hidden caries“ an Seitenzähnen verbesserte [Sheehy et al., 2001; Tonioli et al., 2002]. Des Weiteren ermöglicht die gute Reproduzierbarkeit der Messresultate longitudinale Beobachtung einer auffälligen Stelle und die Möglichkeit der Erfolgskontrolle einer Intensivprophylaxe [Lussi, 2000]. Folgernd sollte der Vergleich von aufeinanderfolgenden Messungen Rückschlüsse auf die Kariesaktivität ermöglichen.

Diagnodent Pen

Das Diagnodent Pen 2190 (KaVo, Biberach) ist eine Weiterentwicklung des Diagnodent. Seit 2005 ist dieses kabellose, als Handstück designte Gerät auf dem Markt erhältlich. Das Basisgerät mit der digitalen Anzeige ist hierbei in das Handstück integriert (Abb. 5). Wie auch das ursprüngliche Diagnodent besitzt der Stift neben einer Fissuren-Sonde (blau) für Glattflächen- und Fissurenskan eine zusätzliche Sonde (schwarz) für den Approximalkbereich, die um 360 Grad drehbar ist und durch ein Prisma den Laser umleitet [Lussi & Hellwig, 2006]. *Lussi und Hellwig* [2006] ermittelten einen Reproduzierbarkeitswert von $\kappa=0,83$ für das Gerät. Die Sensitivitätswerte betrugen 0,78 bis 0,96, während die Spezifität zwischen 0,69 und 0,89 lag.



Abbildung 5: Diagnodent Pen, KaVo, Biberbach

Die Voraussetzungen für eine verwertbare Messung mit Diagnodent Pen sind jedoch nicht identisch zum herkömmlichen Diagnodent. So waren die in einer In-vivo-Studie ermittelten Fluoreszenzwerte mit dem Pen kleiner als die Messungen mit dem herkömmlichen Diagnodent [Krause, 2008].

Vista Cam iX

Bei der Vista Cam iX handelt es sich um ein intraorales Kamerasystem der Firma Dürr Dental (Bietigheim-Bissingen). Auch dieses System soll die Detektion der initialen Fissurenkaries erleichtern und dabei die gesamte Okklusalfäche mit einem Bild erfassen. Bei einer Leistung von 60mW wird blau-violettes LED-Licht von 405nm Wellenlänge von GaN- (Galliumnitrid) Dioden im Kamerakopf emittiert und regt kariös verändertes Gewebe zur Fluoreszenz an. Zahnhartsubstanz weist eine grüne Eigenfluoreszenz auf. Blau-violettes Licht dringt tiefer in den Schmelz ein, wo es die Porphorine zum Leuchten im roten Spektralbereich anregt. Zum einen liegt dies daran, dass das Maximum der Porphorinanregungsbande („Soret-Bande“) bei 405nm liegt, zum anderen ist die Schmelzprismenstruktur für die hohe Eindringtiefe verantwortlich, die Licht, entlang ihrer den Schmelz durchziehenden Struktur in die Tiefe leitet. Dem CCD-Sensor ist ein optischer Farbglassfilter vorgeschaltet, der das Licht unter 495nm Wellenlänge absorbiert, andere Wellenlängen aber durchlässt. Dadurch wird verhindert, dass die Kamera von blau-violetttem Licht übersteuert wird und selektiv im grünen Kanal die grüne Schmelzfluoreszenz und im roten Kanal die rote Fluoreszenz der bakteriellen Porphorine detektiert wird. Kariöse Läsionen werden somit also ähnlich dem QLF-Verfahren durch die reduzierte Fluoreszenz des gesunden Schmelzes nachgewiesen. Wie bei dem Diagnodent-System spricht die erhöhte Rot-Fluoreszenz für eine bakterielle Besiedlung. Nachdem der CCD-Sensor diese Bilddaten in ein

elektronisches Signal umgewandelt hat, werden sie per USB-Verbindung an einen PC weitergeleitet, auf dem die Darstellung mit entsprechender Software des Herstellers (Dürr Dental AG, Bietigheim-Bissingen) erfolgen kann. Im Fall dieser Studie handelt es sich um DDview. Dieses Auswertprogramm ermöglicht durch die Kombination der grünen und roten Farbeffekte eine Erhöhung der Detektionsempfindlichkeit. Das Verhältnis beider Fluoreszenzintensitäten kann dadurch als Maß für die Destruktion bzw. für die bakterielle Kontamination herangezogen werden. Um eine bessere Verlaufskontrolle zu ermöglichen, rechnet die Software die Stärke der Fluoreszenzsignale in Zahlenwerte um. Mittels Mausklick markiert man dazu die auszuwertende Stelle. Bestimmt werden dabei das maximale Rot/ Grün-Verhältnis im jeweiligen Bereich und die Fläche des befallenen Bereichs. Die erhaltene Information wird dann von der Software in einen der Läsionstiefe entsprechenden Wert, welcher zwischen 0 und 4 liegen kann, umgesetzt. Die Einteilung der zugehörigen Diagnose gibt der Hersteller vor:

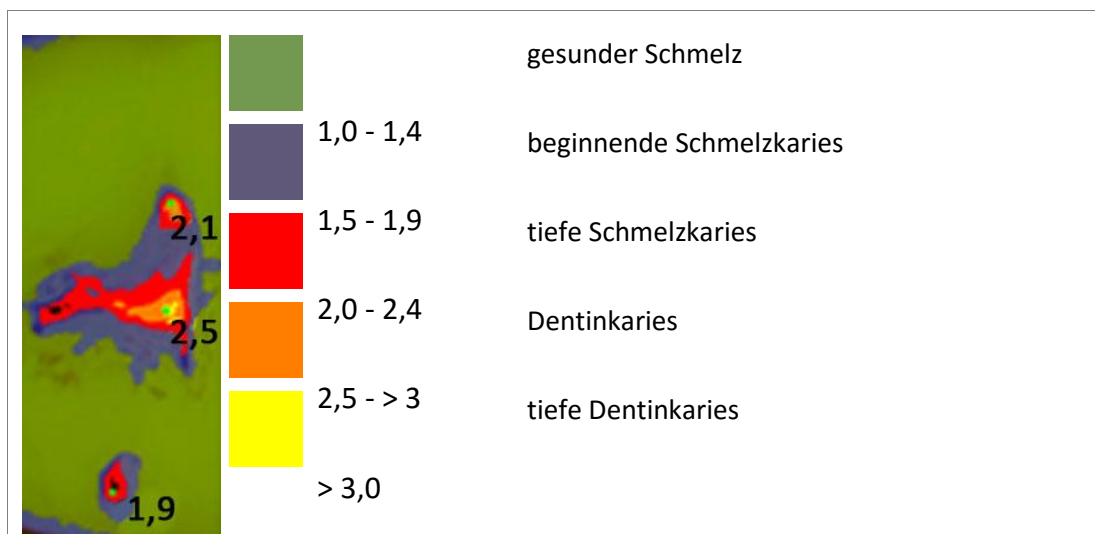


Abbildung 6: Die Imaging Software DBSWIN ermöglicht anhand Farbskala und entsprechender numerischer Auswertung (0->3) eine Beurteilung der Kariestiefe am Bildschirm (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen).

Um den gleichen Zahn bei der Verlaufskontrolle immer im gleichen Abstand aufzunehmen, wird dem Kamerakopf ein Abstandshalter aufgesteckt (Abb. 7), der gleichzeitig eine Abschirmfunktion für Umgebungslicht hat, welches Einfluss auf die Auswertung haben könnte [Eberhart et al., 2007; Krause, 2008]. Das ursprüngliche

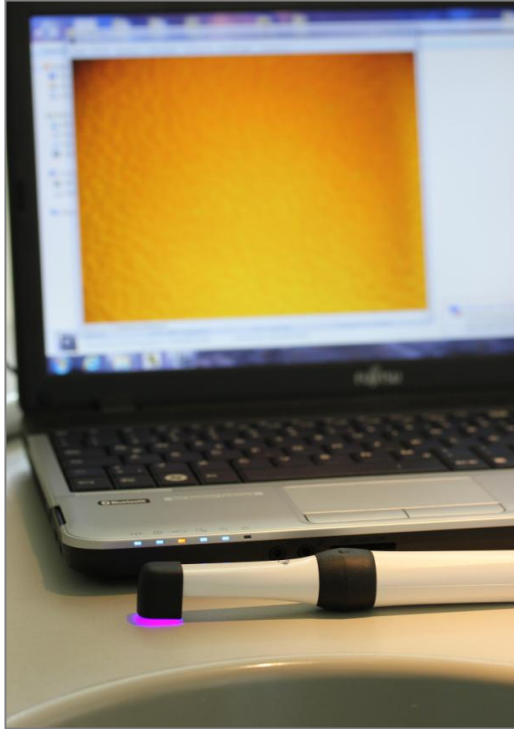


Abbildung 7: Vista Cam iX, Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, über USB Anschluss mit Lap Top verbunden.

VistaProof ist mittlerweile auf dem amerikanischen Kontinent unter dem Namen Spectra (Air Techniques Inc., Melville, NY, USA) zu erhalten. Das nachfolgende Kamerasystem VistaCam iX (Dürr Dental AG, Bietigheim-Bissingen), welches auch in dieser Studie genutzt wurde, ist seit 2011 in Europa erwerbbar. Das Handstück kann mittels zweier Wechselköpfe sowohl als Intraoralkamera als auch als Fluoreszenzkamera eingesetzt werden kann. Neueste Studien haben eine hohe Korrelation zwischen VistaProof, VistaCam, und visueller Untersuchung ergeben [Jablonski-Momeni et al., 2013].

1.2.4 Präventive Maßnahmen zur Vermeidung von Fissurenkaries

Nach *Hetz* [1998] können innerhalb eines Präventionsprogrammes aktive und passive Präventionsmaßnahmen unterschieden werden. Aktive Maßnahmen werden hierbei in Eigenverantwortung von dem Patienten selbst durchgeführt. Neben regelmäßiger häuslicher Zahnpflege gehören dazu das Einhalten bestimmter Ernährungsregeln, die häusliche Fluoridierung und regelmäßige Zahnarztbesuche. Fissurenversiegelungen, Speicheltests, professionelle Zahnreinigungen bzw. professionelle lokale Fluoridierung, die durch das zahnmedizinische Fachpersonal durchzuführen sind, werden somit zu den passiven präventiven Maßnahmen gezählt. *König* [1993] sieht Wege und Ziele zahnmedizinischer Prävention in einer Vielzahl von Ansatzpunkten (Tab. 1).

Tabelle 1: Ansatzpunkte zahnmedizinischer Prävention (König, 1993).

Zielgruppe	Maßnahmen
Gesellschaft/ Bevölkerung	<ul style="list-style-type: none"> - Trinkwasserfluoridierung - Salzfluoridierung
Schule/ Kinder	<ul style="list-style-type: none"> - Fluoridspülungen - Fluoridgaben - Gesundheitserziehung - Zahnärztlicher Gesundheitsdienst
Individuen	<ul style="list-style-type: none"> - professionelle Zahnreinigung - lokale Fluoridierung - Hygieneinstruktionen jedes einzelnen Individuums - kontrollierte Ernährung - Mundhygiene - Inanspruchnahme zahnärztlicher Kontrolle und Therapie

1.2.4.1 Mundhygiene

Um Gingivitis, Parodontitis und Karies vorzubeugen, ist eine systematische häusliche Mundpflege unerlässlich [Schiffner, 1995]. Durch das Zähneputzen sollen Zahnoberflächen gereinigt sowie die Gingivadurchblutung angeregt werden [Schmelzer, 2000]. Optimalerweise sollte das Ziel die vollständige Plaquebefreiung der Mundhöhle sein [Roulet & Zimmer, 2002]. Da orale Mikroorganismen mindestens 24 Stunden benötigen, um eine stoffwechselaktive Plaque auf den Zahnoberflächen zu synthetisieren, sollte normalerweise die Zahnreinigung von einem mal pro Tag ausreichen. Nach einmaligem Putzen erreichen jedoch die meisten Menschen keine absolute Plaquefreiheit an allen Kariesprädispositionsstellen. Daher empfiehlt die DGZMK die Zähne mindestens zweimal am Tag mit einer fluoridhaltigen Zahnpasta zu putzen [Arends & Diekmann 1989; Hellwig, 1999]. Nach neuesten Erkenntnissen besteht eine Korrelation zwischen Mundgesundheit und Putzhäufigkeit [Schenk & Knopf, 2007].

Der Beginn der Mundhygiene ist mit dem Durchbruch des ersten Milchzahns zu empfehlen. Ein Elternteil sollte dann mit einer altersgerechten Kinderzahnbürste mit kleinem Bürstenkopf das Putzen übernehmen. Ab dem dritten Lebensjahr sind Kinder

meist motorisch in der Lage, mit der Zahnpflege selbst zu beginnen. Bis zum Schulalter sollten Eltern jedoch aufgrund der Gründlichkeit nachputzen. Ab dem Schulalter und somit mit den ersten permanenten Zähnen kann sowohl eine normale Zahnbürste, als auch normale Zahnpasta verwendet werden. Auch eine zusätzliche Anwendung von Zahnseide empfiehlt sich für die spezielle Pflege der Approximalfächen [Gülzow, 1996]. Als weitere Hilfsmittel für die Unterstützung der häuslichen Zahnpflege seien auch Interdentalbürstchen, Munddusche, Mundspüllösungen genannt. Die Auswahl der Hilfsmittel sollte individuell passieren. Demzufolge ist Zahnseide beispielsweise nur dann sinnvoll, wenn diese auch korrekt angewandt wird [Berchier et al., 2008].

Im Sinne des nationalen Individualprophylaxeprogramms der gesetzlichen Krankenversicherung zur präventiven zahnmedizinischen Betreuung von Kindern und Jugendlichen, stehen jedem Kind in Deutschland vom sechsten bis zum 18. Lebensjahr die IP-Maßnahmen zu, bei denen die Mundhygiene in der Zahnarztpraxis durch professionelles Personal verbessert werden soll.

Das Programm basiert auf folgenden vier Komplexen:

1. IP 1: Mundhygieneeinschätzung, -instruktion und -demonstration,
2. IP 2: Ernährungslenkung, Intensivmotivation,
3. IP 4: Fluoridierung,
4. IP 5: Fissurenversiegelung.

Ab dem 18. Lebensjahr empfiehlt es sich in regelmäßigen Abständen eine professionelle Zahnreinigung durchführen zu lassen.

1.2.4.2 Fluoride

Bereits seit dem 19. Jahrhundert ist die kariespräventive Wirkung des Fluorids bekannt und stellt heute eine bewährte Methode zur Ergänzung der Kariesprophylaxe dar [Gängler et al., 2005]. Die Fluoridierung kann sowohl systemisch als auch lokal stattfinden. Dabei erfolgt die kariespräventive Anwendung von Fluoriden nach *Zimmer et al.* [1993] auf drei Ebenen:

- kollektiv, z.B. durch fluoridiertes Speisesalz und Trinkwasser
- innerhalb der Gruppenprophylaxe durch Fluoridlack oder Fluoridgelee
- individualprophylaktisch durch den Einsatz höher dosierter Fluoridpräparate in der Zahnarztpraxis [Rieben & Kielbassa, 2007]

Die Wirksamkeit der einzelnen Fluoridierungsmaßnahmen ist abhängig von ihrer Anwendungsfrequenz. Je geringer die Fluorid-Konzentration des angewandten Präparates ist, desto häufiger sollte die Applikation erfolgen [Helfenstein & Steiner, 1994]. Hierbei ist die Verfügbarkeitsdauer (Substantivität) der aufgenommenen Fluoride in der Mundhöhle entscheidend für den Kariesschutz, nicht die insgesamt aufgenommene Menge [Hetzer, 1991]. In den letzten Jahren haben hierzu Studien gezeigt, dass vor allem die lokale Fluoridierung einen positiven Einfluss auf die Zahngesundheit hat (DGZMK, 2000) und demzufolge wirksamer als die systemische Fluoridierung ist [Hellwig & Lennon 2004].

Die Hemmung von Karies durch Fluoride erfolgt dreifach:

- Fluoride wirken zum einen antibakteriell durch die Hemmung des Enzyms Enolase und zum anderen durch die Diffusion als Flusssäure in das Keiminnere mit Senkung des intrazellulären pH-Wertes. Es kommt zur Reduktion des Stoffwechsels der oralen Mikroorganismen indem die Zuckerverwertung zu Milchsäure gestört wird. Auch die Bindung der Bakterienzellen an die extrazelluläre Plaque-Matrix wird erschwert [Kühner, 1997].
- Fluoride lagern mit einem CaF_2 -Komplex in der oberflächlichsten Schicht des Zahnschmelzes. Dieser Komplex ist hauptverantwortlich für den Karies-präventiven Effekt. Kommt es nach Zuckeraufnahme mit dem pH-Wert-Abfall zur Demineralisation der Zahnhartsubstanz, lösen sich Fluoridionen [Ogaard, 1990]. Diese hemmen den Zuckerstoffwechsel in der Plaque und stoppen damit die Entkalkung [Helfenstein 1994; Fischer et al., 1995].
- Fluorid fördert die Remineralisation mit Hilfe der Mineralstoffe im Speichel, indem es bei steigendem pH-Wert neue CaF_2 -Komplexe bildet [ten Cate, 1999; Fischer et al., 1995; Helfenstein & Schneider, 1994].

Wichtig im Zusammenhang mit Fluoriden ist eine korrekte Dosierung, da es bei Überdosierung während der Zahnentwicklung zu weißen Flecken, sogenannten Schmelzfluorosen kommen kann [Schiffner et al., 2009]. Bei Einnahme von zu großen Mengen Fluorid (3 bis 5 mg/kg Körpergewicht) entwickelt dies eine toxische Wirkung. Ab 30 bis 65 mg/kg Körpergewicht wird eine letale Dosis erreicht [Roulet & Zimmer 2002].

1.2.4.3 Chlorhexidinhaltiger Lack

1954 wurde der Wirkstoff Chlorhexidin (CHX) von der Firma ICI entdeckt [Arweiler et al., 2011]. Nachdem in zahlreichen Studien die ausgezeichnete antibakterielle Wirkung von Chlorhexidin auf die Plaque der Mundhöhle beobachtet wurde [Löe & Schiott, 1970; Schiott 1973; Zaura-Arite & ten Cate, 2000; Wyatt & Mac Entee, 2004], gilt Chlorhexidin schon seit langem als Goldstandard zur chemischen bzw. chemisch-mechanischen Plaquekontrolle [van Rijkom et al., 1996]. Die Darreichungsformen von Chlorhexidin reichen von der Mundspüllösung, die vor allem in der Gingivitis-therapie eingesetzt wird, über Gels, Sprays, Chips bis zu Lacken für die präventive Therapie einer Fissurenkaries [Arweiler, 2009].

Durch die hydrophoben und hydrophilen Eigenschaften des Chlorhexidins bindet es sowohl an extrazelluläre Komplexe als auch an negativ geladene Zellwände der Bakterien [Löe & Schiott, 1970; Komorowski et al., 2000]. Dadurch wird das osmotische Gleichgewicht der Zellmembran gestört. Niedermolekulare Stoffe können die Zelle somit verlassen [Komorowski et al., 2000]. Es entsteht ein Mikroleck, was bei hohen Chlorhexidinkonzentrationen zum Zelltod führt [Greenstein et al., 1986; Johnson, 1995], da auch intrazelluläre Makromoleküle denaturieren [Forsten & Karjalainen, 1977]. In der Zahnmedizin werden meist Lösungen mit 0,06-2%iger Konzentration verwendet, wobei CHX bei 0,06-35 % bakterizid wirkt [Komorowski et al., 2000]. Neben der Reduktion eines breiten Spektrums bakterieller Keime im Speichel [Lin et al., 2003] wird auch die Pellikelformation an der Zahnoberfläche erschwert [Hjeljord et al., 1973; Al-Tannir & Goodman, 1994]. Hinzu kommt, dass es durch seine Eigenschaften auch Viren und Pilze abtötet, wenn auch mit variierenden Sensitivitäten [Greenstein et al., 1986; Johnson, 1995]. Ein weiterer positiver Aspekt des Chlorhexidins ist die Substantivität. Darunter versteht man Verweildauer, bei der ein Medikament seine therapeutische Dosis aufweist, in diesem Fall also die Wirkdauer im Mund [Schiott et al., 1970]. Die hohe Substantivität von CHX beruht auf der starken Bindung an orale Gewebe, wie Mukosa und Zähne [Gjerme et al., 1974; Addy & Dowel, 1986]. Besonders an das Hydroxylapatit lagert es sich an [Rölla et al., 1970; Emilson et al., 1973; Ben-Yaakov et al., 1984; Meurman, 1988], von wo es noch nach 24 Stunden freigesetzt wird [Gjerme et al., 1974]. Dadurch entsteht nach der Mundspülung für mehrere Stunden ein bakteriostatisches, Plaque-hemmendes Milieu [Gjerme et al., 1974; Addy & Dowel, 1986; Johnson, 1995; Komorowski et al., 2000].

1.2.4.4 Ozon

Das äußerst reaktionsfreudige Ozonmolekül, erstmals 1839 von Professor C. F. Schönbein beschrieben [Braslavsky & Rubin, 2011] besteht aus drei Sauerstoffatomen. Aufgrund seiner Dipoleigenschaften greift es die negativ geladenen Membranen einfacher Organismen an, was seine Relevanz in der Medizin für den bakteriziden, viruziden und fungiziden Einsatz erklärt [Azarpazhooh & Limeback, 2008]. Ähnlich dem Chlorhexidin, entsteht auch durch das Ozon eine Membranperforation der Zelle [Schneider & Gläser, 2011].

In der Zahnheilkunde konnte sich beispielsweise das Gerät HealOzone (KaVo, Biberbach; Deutschland) in klinischen Studien beweisen [Holmes & Lynch, 2003]. Nachgewiesen wurde zum einen die Inaktivierung kariöser Läsionen durch das Ozon, sowie zum anderen die Befreiung der okklusalen Flächen vom bakteriellen Biofilm. Hierzu wird während der Ozon-Applikation mittels eines Handstückes mit Silikonkappe ein Vakuum am Zahn erzeugt, um das Entweichen von Ozon zu verhindern [Schneider & Gläser, 2011]. Auf das orale Gewebe soll das Ozon zwar keinerlei Nebenwirkungen haben [Huth et al., 2006], bei den Endothelzellen der Lungenalveolen wirkt es allerdings ähnlich wie auf die Mikroorganismen [Schneider & Gläser, 2011], weswegen es nicht eingeatmet werden soll. Mit 20 Sekunden pro Fläche ist die therapeutische Anwendung relativ zeitintensiv [Allais, 2010], eine neue stoffwechselaktive Plaque entsteht bereits nach 24 Stunden [Roulet & Zimmer, 2002]. In Verbindung mit einer Fissuren-Versiegelung wäre jedoch ein Langzeiteffekt zu erreichen.

1.2.4.5 Xylit

Der Zuckeraustauschstoff Xylit (Birkenzucker) spielt durch seine speziellen Wirkungsmechanismen eine besondere Rolle in der Kariesprophylaxe. Er ist in Form von Lutschpastillen, Kaugummis oder als Kristallzucker erhältlich. Karies erregende Bakterien der Mundflora können ihn nicht verstoffwechseln und ihn somit, im Gegensatz zum herkömmlichen Zucker, nicht als Energielieferanten nutzen. Dementsprechend bilden Sie keine kariogenen Säuren, die durch die Demineralisierung den pH-Wertes in der Plaque herabsenken würden [Mäkinen, 2003]. Das Bakterienwachstum wird durch diese Eigenschaften gehemmt und folglich das Plaquewachstum verringert. Durch die Mengen- und Adhäsionsbeeinflussung der Plaque fördert es zudem die Gingivagesundheit. Xylit verfügt über eine hohe

Substantivität, also Langzeitwirkung. Es soll besonders bei durchbrechenden Zähnen wirksam sein. Laut *Mäkinen* [2003] kann durch eine tägliche Aufnahme von 5-10 g Xylit eine Kariesreduktion von bis zu 85% erreicht werden. Entscheidend ist hierbei nicht die Art der Applikation sondern die Häufigkeit. Beispielsweise soll die dreimalige Anwendung Xylit-haltiger Kaugummis pro Tag eine sinnvolle kariesprophylaktische Wirkung erzielen. Eine Nebenwirkung ist die abführende Wirkung bei einer übermäßigen täglichen Aufnahme (> 20 g/ Tag), was jedoch beim kariesprophylaktischen Konsum von 5 - 10 g täglich vernachlässigt werden kann.

1.2.4.6 Fissurenversiegelung

Aufgrund der in Kap. 1.2.2.1 beschriebenen Ursachen ist die Fissurenkaries trotz guter Mundhygiene, ausgewogener Ernährung und regelmäßiger Fluoridierungsmaßnahmen nicht immer zu verhindern [Trummler & Trummler, 1989]. Daher ist die Fissurenversiegelung fester Bestandteil im zahnärztlichen Praxisalltag. Um eine Kariesentstehung vorzubeugen und/oder kariöse Frühstadien zu arretieren, wird durch die Versiegelung ein präventiver Verschluss der kariesanfälligen Fissuren und Grübchen erzielt [Welbury et al., 2004]. Diese Plaque-retentiven Nischen werden durch diesen speichel- und bakteriendichten Verschluss für den Patienten zu leicht zu reinigenden Oberflächen.

In der Bundesrepublik Deutschland kann seit 1993 die Versiegelung von Fissuren und Grübchen bleibender Molaren bei allen 6- bis 17-Jährigen als IP5-Position kassenzahnärztlich abgerechnet werden. Sie steht demzufolge allen Kindern und Jugendlichen kostenfrei zur Verfügung. Trotzdem ist auch bei diesem kleinen Eingriff die Indikationsstellung wichtig. So sehen *Trummler und Trummler* [1989; 1990] eine retentive Fissurenmorphologie und häufigen Zuckerkonsum des Patienten als sinnvolle Indikation für die Versiegelung. Weiterhin soll der Zahn schon vollständig in die Mundhöhle durchgebrochen sein, um eine Trockenlegung zu gewährleisten. Die betroffenen Fissuren und Grübchen sollten kariesfrei sein, wohingegen eine nachgewiesene Dentinkaries gegen die Versiegelung und für eine minimalinvasive Füllungstherapie spricht. Auch wenn ein Zahn schon länger als 4 Jahre nach dem Durchbruch kariesfrei ist oder bei Patienten mit sehr hohem Kariesrisiko, aber mangelnder Compliance ist die Fissurenversiegelung kontraindiziert. Denn bei

letzterem kann man davon ausgehen, dass in Zukunft auch noch eine Approximalkaries hinzukommt.

Mittlerweile wurde in zahlreichen Untersuchungen der kariesprophylaktische Effekt der Fissurenversiegelung nachgewiesen [Riethe 1988; Trummel & Trummel, 1990; Irmisch, 1992; Heinrich-Weltzien et al., 1998]. So untersuchte *Riethe* [1988] 1981 - 1986 die kariespräventive Wirkung von Fissurenversiegelungen an 348 Prämolaren und Molaren bei Kindern. Beim Vergleich hinsichtlich der Kariesanfälligkeit der Zähne waren es die unbehandelten Molaren, welche signifikant häufiger okklusale Karies bekamen als die versiegelten. Jüngst wurde dieser präventive Effekt in einem systematischen Review der Cochrane Collaboration analysiert [Ahovuo-Saloranta et al., 2008]. Unter Berücksichtigung diverser Untersuchungen und randomisierter, klinisch kontrollierter Studien kam man zur grundsätzlichen Übereinstimmung mit älteren Publikationen. Schlussfolgernd handele es sich bei der Fissuren- und Grübchenversiegelung um eine empfehlenswerte Präventionsmaßnahme zur Vorbeugung kariöser Läsionen an den Okklusalfächen der bleibenden Molaren [Rock & Anderson, 1982; Llodra et al., 1993; Mejäre et al., 2003].

1.2.4.6.1 Versieglungsmaterialien

Es gibt verschiedene Materialien, die zur Versiegelung von Fissuren erhältlich sind [Ahovuo-Saloranta et al., 2008], wovon heute jedoch Kunststoffe die häufigste Verwendung finden. Ähnlich der zur Füllungstherapie genutzten Kompositmaterialien, handelt es sich bei Fissurenversiegeln entweder um ungefüllte Grundsubstanzen (Diacrylate wie z.B. UDMA oder Bis-GMA) konventioneller Kunststofffüllungsmaterialien oder um niedrig visköse Komposite mit geringem (meist Siliziumdioxid) Füllkörperanteil [Hellwig et al., 2013]. Über eine Polymerisationsreaktion, die durch einen lichtempfindlichen Initiator gestartet wird, härten die Kunststoffe aus. Dabei entsteht ein Polydiacrylat [Ludwig, 2005]. Des Weiteren unterscheiden sich Fissurenversiegler auch in ihrer Transparenz. Sie können pigmentiert (weiß bzw. opak) oder durchsichtig sein [Hellwig et al., 2013]. Ein großer Vorteil des weißen Materials liegt in der schnellen Diagnostik von Bläschen, Versieglerdefekten oder -verlusten sowie der Kontrolle des Randschlusses [Riethe, 1988]. Der klare Versiegler erlaubt jedoch die Beobachtung der Fissur unterhalb der Versiegelung. Ein Materialdefekt ist bei ihm jedoch sehr schwierig zu erkennen. 86%

der Zahnärzte bevorzugen laut einer Studie von *Irmisch et al.* [1997] weißes Versiegelungsmaterial, nur 14% nahmen transparentes.

Auch Glasionomerzemente (GIZ) können als Fissurenversiegler gebraucht werden. Hauptbestandteile dieses Materials sind Aluminium-Silikat-Gläser sowie Polyacrylsäuren [Marxkors & Meiners, 2005], die mittels einer klassischen Säure-Base-Reaktion abbinden [Ludwig, 2005]. Über eine chemische Bindung haften Glasionomerzemente auch am Zahn, weswegen sie ohne Anwendung der Säure-Ätz-Technik auf den Zahn appliziert werden können [Hellwig et al., 2013]. Glasionomerzemente sind zwar sehr unempfindlich gegenüber Wasser und somit der Mundfeuchtigkeit [Mejare et al., 2003], ihre langfristige Retention ist jedoch eher ungünstig, wie zahlreichen klinischen Studien zeigten [Mejare & Mjör, 1990; Forss et al., 1994]. Es wurde erkannt, dass sich diese Versiegelungen komplett oder zumindest partiell lösten. Zum Teil konnte zwei Jahre nach Versiegelung mit GIZ keine intakte Versiegelung mehr festgestellt werden [Smales & Wong, 1999]. Vergleicht man die Wirksamkeit von GIZ und Kompositen, ist festzustellen, dass Komposite allein wegen ihrer Langlebigkeit das bevorzugte Versiegelungsmaterial darstellen sollten [Mejare & Mjör, 1990; Forss et al., 1994]. Auch die Fluoridabgabe, die früher Vorteil der GIZ war, wird heute auch mit Kompositen erzielt, wobei diese bei GIZ immer noch stärker ist [Hickel, 1997]. Laut DGZMK sind Kompositversiegelungen einer GIZ-Versiegelung zwar vorzuziehen, aber für eine begrenzte Zeit sind auch GIZ einsetzbar, wenn beispielsweise, aufgrund mangelnden Compliance, eine suffiziente Trockenlegung nicht möglich ist. Auch im Rahmen von zahnmedizinischen Einsätzen in Entwicklungsländern ist die Verwendung von GIZ als Fissurenversiegelungsmaterial indiziert, da weder Strom noch Wasser benötigt werden [Hickel, 1997].

1.2.4.6.2 Klinische Anwendung

Im Vergleich zur Füllungstherapie ist die Applikation eines Versiegelungsmaterials ein weniger zeitintensives Procedere. Trotzdem müssen alle klinischen Arbeitsschritte sorgfältig ausgeführt werden, damit die Qualität der Behandlung garantiert werden kann. Die Anwendung von Kompositversiegler erfordert, entsprechend der Leitlinien der DGZMK, mindestens eine relative Trockenlegung. Um dies in einer zügigen, effizienten Behandlung umzusetzen, sollte mit einer Vierhand-Technik (Zahnarzt und ZMF) gearbeitet werden und Watterollen bzw. Parotiskissen eingesetzt werden.

Außerdem sollte die Versiegelung unter Sicht erfolgen. Kann ein vierhändiges Arbeiten im Praxisalltag nicht umgesetzt werden, wird die Zuhilfenahme von Kofferdam empfohlen. Auch das weitere klinische Vorgehen orientiert sich an den Leitlinien der DGZMK. Um mit einer sauberen Zahnoberfläche optimale Bedingungen für eine Säure-Ätz-Technik zu schaffen, müssten anhaftende Beläge so gut wie möglich entfernt werden. Hierzu wird heute routinemäßig vor der Versiegelung eine lokale Zahnreinigung mittels rotierendem Bürstchen mit/ ohne Prophylaxepaste durchgeführt. Sie ist schnell und kindgerecht [Donnan & Ball, 1988; Gillcrist et al., 1998], kann aber keine absolute Tiefenreinigung der engen Fissuren garantieren. Um diesen Nachteil zu kompensieren, wird die Pulver- (Air Flow) oder Partikelstrahlreinigung mit Aluminiumoxid empfohlen. Ist der zu versiegelnde Zahn gereinigt, folgt die Säurekonditionierung durch die Applikation einer bis zu 40%igen Phosphorsäure [Hickel et al., 2005]. Diese wirkt für 30 bis 60 Sekunden ein. Durch das Herauslösen von interprismatischer Substanz zwischen den Schmelzprismen raut sie die Zahnoberfläche an [Hellwig et al., 2013]. Dieses Vorgehen ermöglicht einen mikroretentiven Verbund zwischen Schmelz und Versiegler [Buonocore, 1955; Gwinnett & Ripa, 1973]. Nach gründlicher Entfernung der Säure sowie der gelösten Schmelzbestandteile mit Wasser, soll die Zahnoberfläche trocken gepustet werden, bis eine kreidig weiße Schmelzoberfläche zu erkennen ist. Nun kann der Versiegler dünn auf den vorbehandelten Zahn appliziert werden. Mit einer stumpfen Sonde kann man hierbei die Fissur durchziehen, um Bläschen zu entfernen. Nachdem man Überschüsse mit einem kleinen Schaumstoffkissen aufgesaugt hat wird die Versiegelung mittels Polymerisationslampe ausgehärtet. Anschließend wird die Okklusion überprüft und der Versiegler poliert [Hickel et al., 2005].

Heute ist bekannt, dass vor allem Verarbeitungsfehler des Behandlers und nicht, wie in der Vergangenheit angenommen, Materialfehler die präventive Wirksamkeit der Fissurenversiegelung herabsetzen [Heinrich-Weltzien, Kühnisch, 1999]. Fehler wie die Blasenbildung, Materialüberschuss, ungenügende Reinigung der Fissur oder die Speichelkontamination der geätzten Fläche können zu Defekten bzw. Kompletterverlust von Versiegelungen führen [Merte et al., 1995]. Die dadurch entstehenden Retentionsquellen begünstigen wiederum kariöse Prozesse. Demzufolge ist die kariesprotektive Wirksamkeit der Fissurenversiegelung von ihrer Qualität abhängig [Riethe, 1988]. Werden aber genannte Behandlungsfehler vermieden, lässt sich

zusammenfassend feststellen, dass die okklusale Karies durch eine Fissurenversiegelung nachweislich gehemmt bzw. verhindert wird und damit ein wichtiges Standbein der präventiven Zahnheilkunde darstellt [Irmisch, 1992; Strippel, 1997].

1.3 Ziel der Arbeit

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde die Auswirkung einer in-vitro Abnutzung von Fissurenversiegeln auf kariesbedingte Fluoreszenzwerte untersucht. Dazu wurden vier Kontrollgruppen mit jeweils einem von zwei gefüllten und zwei ungefüllten Fissurenversiegeln (Dentsply, Voco) behandelt. In der fünften Gruppe (Versuchsgruppe) erfolgte die Versiegelung mit einem Nanopartikel- gefüllten Versiegler (Voco). Alle Zähne besitzen okklusal kariöse Läsionen. Es wurden zu drei Zeitpunkten Fluoreszenzmessungen durchgeführt: Vor der Versiegelung (t1), nach der Versiegelung (t2) und nach einer künstlichen Alterung im Kausimulator (t3). Die ermittelten Werte wurden mit den Ausgangsfluoreszenzen verglichen.

Im Rahmen der Studie wurden folgende Kriterien ausgewertet:

- Fluoreszenzmessung der okklusalen Flächen mit dem klassischen und der Pen-Version des Diagnodent-Systems (KaVo) zu den Zeitpunkten t1, t2, t3
- Aufnahmen der okklusalen Flächen mit der VistaCam iX Fluoreszenz-Kamera, ebenfalls zu den drei o.g. Versuchsabschnitten (t1, t2, t3)

Dazu wurden folgende Parameter beurteilt:

- Feststellung der Eignung der Molaren durch einen Mindest-Fluoreszenzwert von 10 bei der ersten Diagnodent-Messung vor t1
- Vergleich der Fluoreszenzwerte (Diagnodent) bzw. Aufnahmen (VistaCam) innerhalb der Versuchsgruppen in den drei Messungen (t1, t2, t3)
- Vergleich der Fluoreszenz-Auswertungen der 5 Gruppen untereinander

Arbeitshypothese:

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde der Arbeitshypothese nachgegangen, dass der Nanopartikel-gefüllte Fissurenversiegler der Versuchsgruppe (Voco), selbst nach Abnutzung des Materials, keinen Einfluss auf eine kariesbedingte Fluoreszenz hat und somit langfristig eine Kariesprogredienz- Bestimmung an versiegelten Molaren ermöglicht.

2. MATERIAL UND METHODE

2.1 Material

2.1.1 Auswahl und Reinigung der Versuchszähne

Zunächst wurden für die Studie menschliche Zähne in Zahnarztpraxen gesammelt, die in einer isotonen NaCl-Lösung mit Natriumacid-Zusatz (0,9% NaCl + 0,001% Natriumazid) desinfiziert und konserviert aufbewahrt wurde. Die Studie wurde unter Beachtung erklärter ethischer Prinzipien (niedergelegt in der World Medical Association Declaration of Helsinki, Version VI, 2002) durchgeführt. Die Patienten wurden informiert, dass ihre Zähne im Rahmen eines Studienprojekts verwendet würden. Bei

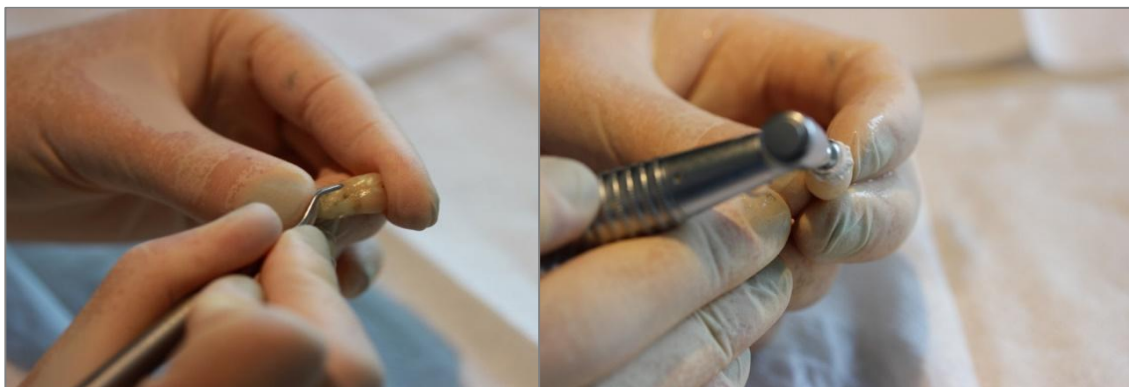


Abbildung 8 a & b: Reinigung der Zähne mit Scaler (a), Prophylaxebürstchen und Reinigungspaste (b).

den Zähnen sollte es sich um Seitenzähne handeln, also Molaren und Prämolaren, welche keine okklusalen Füllungen aufwiesen. Die Fissuren mussten vorhanden sein und Verfärbungen dieser waren erwünscht. Nachdem alle Zähne bedarfsentsprechend mit einem Handscaler (Abb. 8a) (Neville #2, Hu-Friedy) und Prophylaxe-Bürstchen (Nylon-Kelch von HAGERMEISI) für das grüne Winkelstück (KaVo Dental GmbH, Biberach, Deutschland) mit Polierpaste (Abb.8b) (Zircate Prophy Paste, Densply De Trey) von anhaftendem Weichgewebe, Zahnstein, Plaque und exogenen Verfärbungen befreit wurden, erfolgte die Prüfung auf Tauglichkeit. Mit dem Diagnodent wurde bei jedem Zahn der maximale Fluoreszenzwert der Fissur ermittelt. Im weiteren Versuchsteil wurden nur Zähne eingeschlossen, die einen Mindestwert von 10 aufwiesen. Zwischen den Versuchen lagerten die Zähne in Zentrifugen-Röhrchen (14ml, Boehringer Ingelheim Diagnostika, Dortmund), welche mit der o.g. Lösung gefüllt waren. Jedes Röhrchen erhielt einen dem Zahn zugeordneten Zahlencode, der während der Versuchsabschnitte die Identifizierung jedes Zahnes garantierte.

2.2 Versuchsdesign

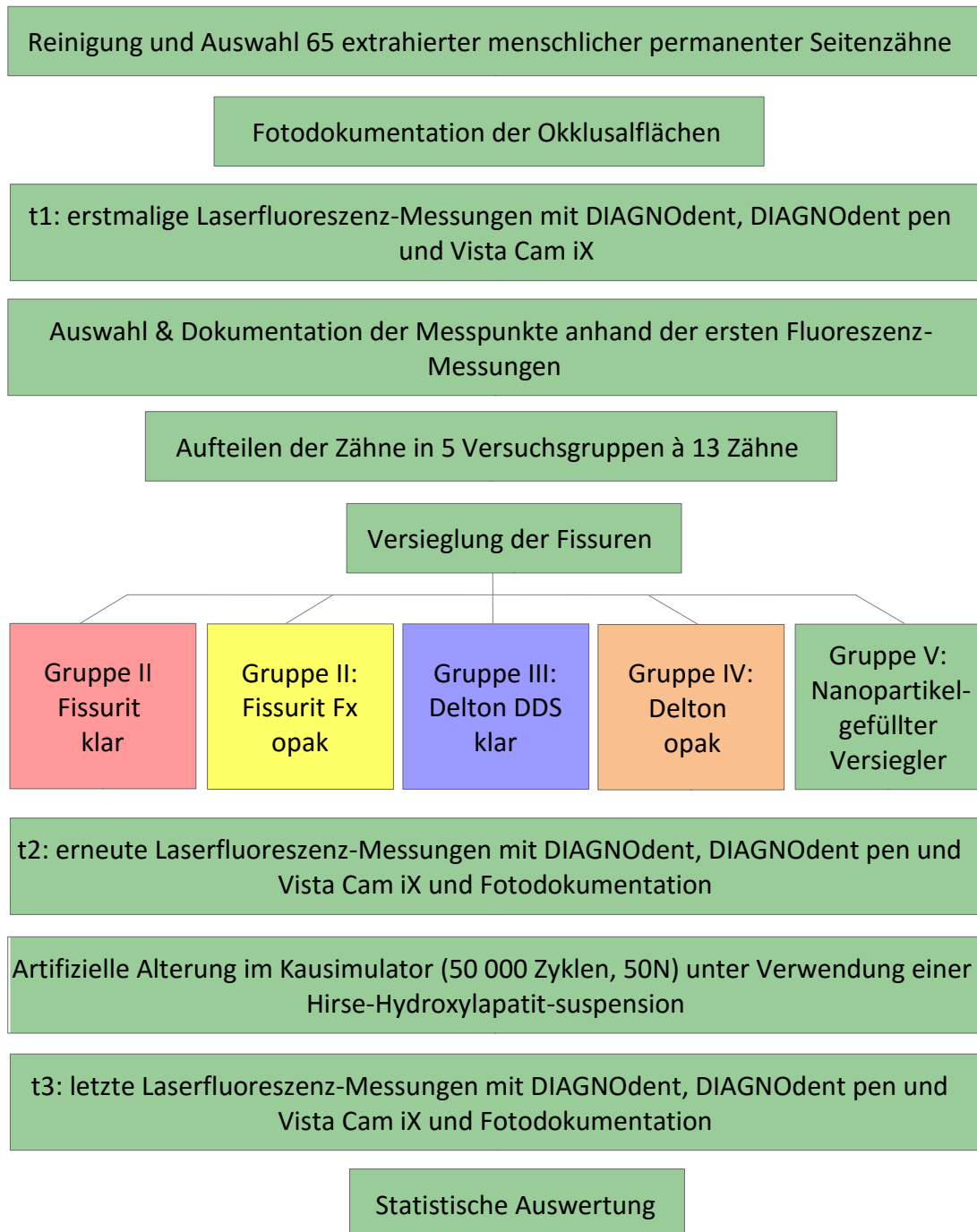


Abbildung 9: Versuchsdesign, Übersicht über praktischen Ablauf der Studie.

2.2.1 Auswahl der Messpunkte

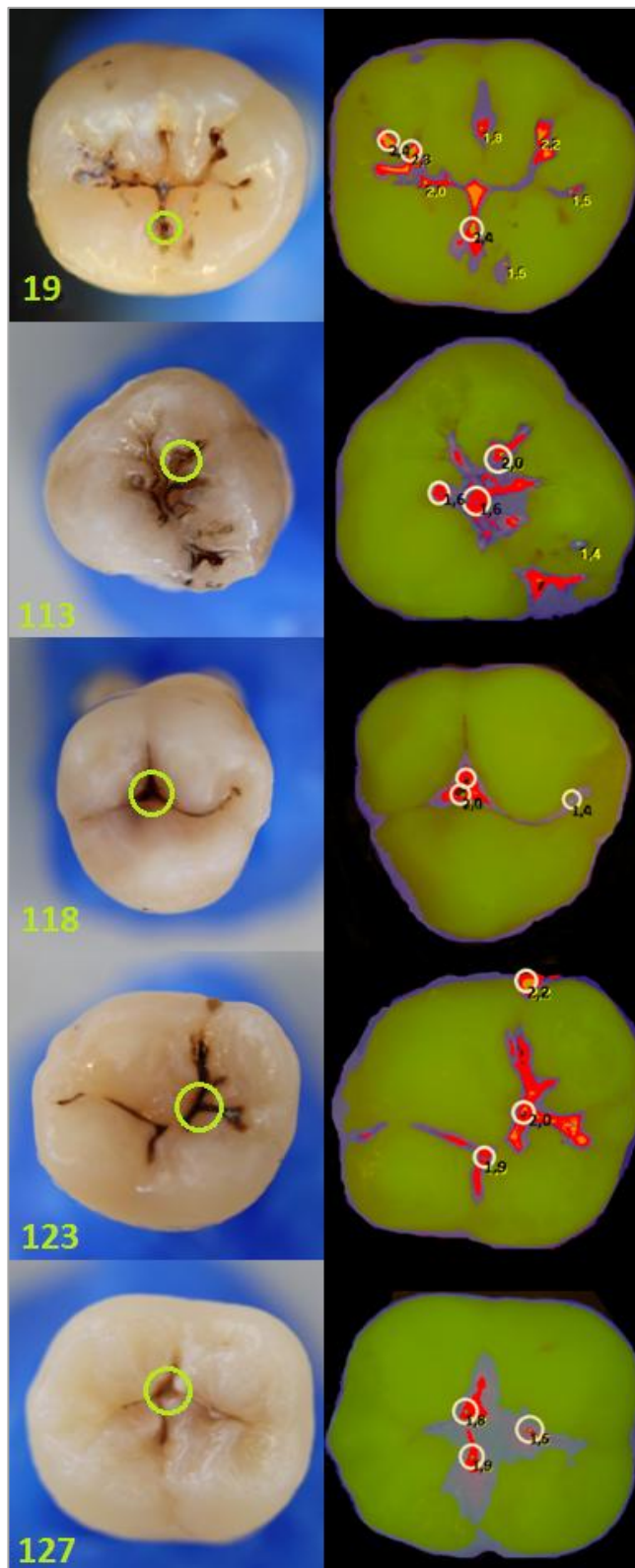


Abbildung 10 : 5 Beispiele für Markierungen der Messpunkte.
 Linke Spalte: 1 Punkt für Diagnodentmessung,
 rechte Spalte: 3 Punkte für Vista Cam iX Auswertungen.

Von jedem Zahn wurden okklusale Fotos angefertigt und durch eine digitale Markierung festgehalten, wo der jeweils höchste Fluoreszenzwert lag. Anhand dieser Bilder konnte man in den folgenden Versuchsabschnitten die Diagnodent-Messungen an den gleichen Messpunkten vornehmen. Für die Vista Cam iX Messungen wurde auch dementsprechend vorgegangen, wobei hier pro Zahn die 3 höchsten Fluoreszenzwerte festgehalten und im Nachhinein gemittelt wurden. Abb. 10 veranschaulicht anhand von fünf Zahnproben, wie die Messpunkte dokumentiert wurden, um sie in den Versuchsabschnitten t1, t2 und t3 zu reproduzieren. Für die Dokumentation der Messwerte beider Diagnodent Systeme, sowie der VistaCam iX Aufnahmen wurden Dokumentationsbögen entworfen (s. Anhang).

2.2.2 Einteilung der Versuchsgruppen

Schon in der Poweranalyse wurden die Zähne so aufgeteilt, dass die Fluoreszenzwerte pro Versuchsgruppe im Durchschnitt ähnlich waren. Das heißt, es wurden sowohl Zähne mit niedrigen, als auch hohen Werten gleichermaßen in den 5 Gruppen aufgeteilt. Nach Auswertung der Poweranalyse mit einer Probengröße von $n=5$ erschloss sich die endgültige Probengröße von 13 Zähnen pro Versuchsgruppe.

2.2.3 Versiegler-Gruppen

Im Folgenden werden die verschiedenen Versiegler vorgestellt, die in der vorliegenden Studie verglichen wurden. Die Informationen über Zusammensetzungen und Eigenschaften entsprechen den Herstellerangaben.

Gruppe I: Fissurit® (VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland)

Bei Fissurit von Voco handelt es sich um einen transparenten Versiegler ohne Fluoridzusatz. Aufgrund der fehlenden Pigmente erlaubt der Versiegler, laut Hersteller, die Kontrolle der Kariesaktivität unterhalb der Versiegelung. Hauptsächlich besteht der Versiegler aus den Dimethacrylaten Bis-GMA und UDMA (VOCO). Dimethacrylate bilden eine systematische Gruppe von Kohlenwasserstoffen, deren gemeinsames Merkmal die Acryl- Gruppe ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COR}$) ist. Die Doppelbindung des Moleküls wird während der Lichthärtung (Polymerisation) des Versieglers radikalisch gespalten. Diese Kettenreaktion wird durch einen lichtempfindlichen Initiator der anorganischen Phase eingeleitet, der unter Licht in ein Radikal zerfällt. Folglich handelt es sich, wie auch bei den anderen Versiegler, um einen lichthärtenden Kunststoff. Des Weiteren beinhaltet die anorganische Phase einen Füllstoffgehalt von nur 9% [Gaitzsch, 2013].

Gruppe II: Fissurit® Fx (VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland)

Bei diesem opaken Versiegler liegt, aufgrund des hohen Füllstoffanteils (55%) eine hohe Abrasionsfestigkeit vor. Dies ermöglicht auch den Einsatz des Versieglers bei kleinen Füllungen bzw. Füllungsreparaturen. Voco wirbt hier mit einer perfekten Randadaption, welche durch die weiße Farbe visuell kontrollierbar ist und einer hohen Stabilität. Außerdem soll durch die kontinuierliche Fluoridabgabe einer Kariesentstehung entgegen gewirkt werden (VOCO).

Gruppe III: Delton DDS clear (Densply DeTrey, Konstanz)

Delton DDS ist ein durchsichtiger Versiegler auf Basis von TEGDMA (Triethylenglycoldimethacrylat) und BisGMA. Auch dieses Fluorid-freisetzende Material besitzt nur einen geringen Füllkörperanteil aus Silikatglas, wodurch laut Hersteller kariöse Vorgänge unterhalb der Fissur frühzeitig erkannt werden können.

Gruppe IV: Delton opak (Densply DeTrey, Konstanz)

Neben niedrig-viskösen Monomeren, TEGDMA und BisGMA, enthält Delton opak auch Titandioxid und Silikondioxid, welche der Pigmentierung des Versieglers dienen. Laut Herstellerangaben setzt dieser, auch in Zahnfarben erhältliche Versiegler, Fluorid in Form von Natriumfluorid frei. Der Glasfüllergehalt (Bariumaluminofluoroborosilikatglas) beträgt 55%.

Gruppe V: Nanopartikel-gefüllter Kontroll-Versiegler („control seal“) (VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland)

Das Nanopartikel-gefüllte „control seal“ ist ein experimenteller, neuer Versiegler der Firma Voco, welcher den herkömmlichen Versiegler in seiner organischen Phase ähnlich ist. Aufgrund der nanogefüllten anorganischen Phase soll er Verbesserungen in physikalischen Eigenschaften wie Abrasionsfestigkeit und geringerer Polymerisationsschrumpfung aufweisen. Es galt diesen Versiegler bezüglich seines Einflusses auf die Fluoreszenzwerte der Zähne mit den oben genannten Versiegler zu vergleichen.

2.3 Methode

2.3.1 Laserfluoreszenzmessungen mit Diagnodent und Diagnodent Pen

Die Fluoreszenzmessungen wurden sowohl mit dem herkömmlichen Diagnodent (Abb. 4, 11) als auch mit der Pen-Version (Abb. 5) des Systems von KaVo (Biberach, Deutschland) durchgeführt. Um Fehler durch Ungenauigkeiten der Geräte zu vermeiden, wurden sie vor jeder Versuchsreihe und nach jeder zehnten Messung standardkalibriert. Dies geschah gemäß der Anleitung des Herstellers an dem mitgelieferten Kalibrierstein aus Keramik (Abb. 5 vorne, 11a).



Abbildung 11 a & b: a) Kalibrieren des Diagnodent am dafür vorgesehenen Keramikstein, b) Fluoreszenzmessung an Zahnprobe

Für die Messungen wurden die speziell für die okklusalen Flächen bestimmten Sondaufsätze genutzt: Aufsatz A (Kegelform) für das Diagnodent und Fissur-Sonde F (Zylinderform) für Diagnodent Pen. Vor den Messungen wurden die entsprechenden Zähne der Lösung entnommen und mit einem Luftpüster getrocknet, da Feuchtigkeit die Messwerte verfälschen könnte.

Nachdem die Messpunkte anhand der ersten Laserfluoreszenzmessung mit dem Diagnodent festgelegt und auf digitalen Bildern dokumentiert wurden, konnten anhand dieser Bilder die Messpunkte in jedem Versuchsabschnitt reproduziert werden. Während der Messung wurde die Sonde ohne Druck unter leicht kreisenden Bewegungen auf die entsprechenden Messpunkte gehalten. Der auf dem Display angezeigte Wert wurde dokumentiert. Die Laserfluoreszenzmessungen mit beiden Diagnodent Systemen wurden zu drei Versuchsabschnitten durchgeführt:

- t1: Vor der Versiegelung
- t2: Nach der Versiegelung
- t3: Nach Durchlaufen der Kausimulation

2.3.2 Laserfluoreszenzaufnahmen mit der VistaCam iX

Nachdem die Software DDview auf einem Laptop installiert wurde, konnte die Untersuchung in einem abgedunkelten Raum bei konstanter Lufttemperatur von 18-22°C arrangiert werden. Jeder Zahn wurde unmittelbar vor der Aufnahme aus der Flüssigkeit genommen, mit einem Luftpüster getrocknet und mit weichem „periphery wax“ (Heraeus) in einem herkömmlichen Fotofilmdöschen stabilisiert (Abb. 12a). Das Fotofilmdöschen diente hierbei der verstärkten Abdunkelung der Zähne. Die Aufnahmen wurden entsprechend der Herstellerangaben durchgeführt. Um für alle

Aufnahmen eine konstante Distanz und einheitlichen Position der Kamera zum Zahn zu gewährleisten, wurde stets der Abstandhalter verwendet (Abb. 12a).

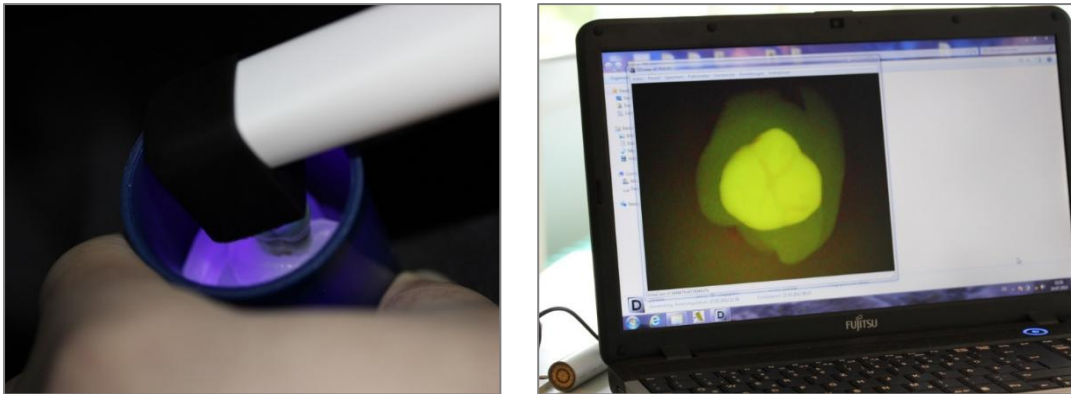


Abbildung 12 a & b: a) Fluoreszenzmessung mit der Vista Cam iX unter Nutzung des Abstandhalters, b) Fluoreszenzbild vor der Auswertung.

Zur Auswertung der Fluoreszenzbilder wurde die Software DDview (Abb. 12b) genutzt, welche zum einen unter der Funktion „caries filter“ die kariösen Läsionen farblich hervorhebt (Abb.13). Gesunder Schmelz sendet hierbei grünes Licht aus.

Rot, blau, orange und gelb visualisieren den jeweiligen Grad der kariösen Läsion von D1 bis D4. Zum anderen wird die Ausdehnung einzelner Läsionen mit einem Zahlenwert auf einer Skala von 0-4 kategorisiert und angegeben. Dies ermöglicht einen objektiven Vergleich der Werte aller Zähne. Ähnlich der DiangnoDent-Messungen wurden auch hier die Messpunkte für jeden Zahn in einer mit der Kariesfilter ausgewerteten Aufnahme markiert und dokumentiert. Hierbei handelte es sich um die drei maximalen Werte jeder Okklusalfäche in der ersten Messung, welche im Nachhinein gemittelt wurden. Die Fluoreszenzmessung an den festgelegten Punkten wurde auch mit der VistaCam iX zu den drei Zeitpunkten reproduziert:

t1: Vor der Versiegelung

t2: Nach der Versiegelung

t3: Nach Durchlaufen der Kausimulation

Die Messwerte wurden den Fluoreszenzaufnahmen entnommen und in Dokumentationsbögen eingetragen (s. Anhang).

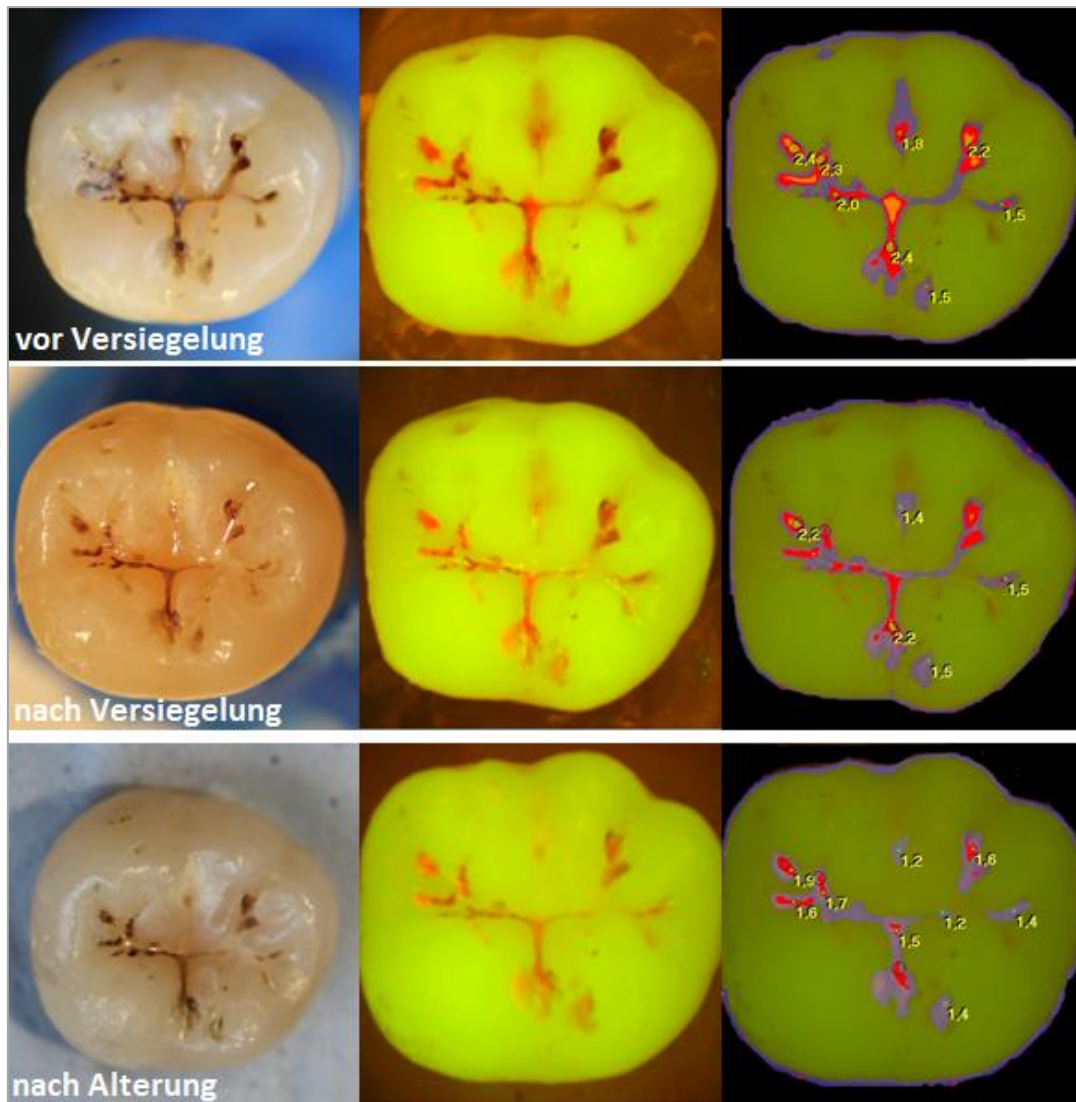


Abbildung 13: Zahnprobe Nr. 19 vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Kausimulation. Man sieht von links nach rechts jeweils eine normale Fotoaufnahme, eine Vista Cam iX Fluoreszenzaufnahme und die Auswertung mit der Software DDview.

2.3.3 Versiegelung der Versuchszähne

Da die Reinigung der Okklusalfächen bereits vor Auswahl der Versuchszähne stattfand, wurden die Zähne gruppenweise aus der NaCl/Natriumacid-Lösung genommen und nur mit einem Luftpüster getrocknet. Kariöse Läsionen wurden vor dem Versiegeln nicht entfernt. Zunächst wurden die Fissuren mit 37%iger Phosphorsäure (Abb.14a) (Total Etch; Ivoclar, Schaan, Liechtenstein), welche mit einer Metall-Applikationskanüle aufgetragen wurde, für 40 Sekunden geätzt. Anschließend erfolgte das Abspülen der Zähne für 30 Sekunden mit klarem Wasser, um sie erneut zu trocknen bis das Ätzmuster zu sehen war (Abb 14b). Nun wurden die unterschiedlichen Versiegler appliziert. Zur Anwendung kamen I: das klare Fissurit® (VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland), II: das opake Fissurit® Fx (VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland), III: Delton DDS clear (Densply DeTrey, Konstanz), IV: Delton opak (Densply DeTrey, Konstanz) und V: ein

experimenteller Nanopartikel-gefüllter Versiegler (VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland). Nach Applikation der Versiegler wurde, bei noch flüssigem Material, mit einer zahnärztlichen Sonde vorsichtig durch die Fissur gestrichen, um es besser zu verteilen und Lufteinschlüsse zu vermeiden (Abb. 15a), Überschüsse wurden mit einem Schaumstoffpellet entfernt (Abb. 15b). Danach wurde jede versiegelte Fläche für 20 Sekunden mit einer Polymerisations-Lampe ausgehärtet (Abb. 16a). Es folgte eine visuelle und taktile Überprüfung der Versiegelungen auf Vollständigkeit und Randschluss mit einer Sonde. Bei Lufteinschlüssen oder Unterschüssen wurde erneut geätzt, nachversiegelt und poliert (Abb. 16b).

Abschließend erfolgte der zweite Durchgang (t2) der Laserfluoreszenzmessungen mit Diagnodent, Diagnodent Pen und der Vista Cam iX.



Abbildung 14 a & b: a) Ätzen der Okklusalfäche 70% Orthophosphorsäure, b) entstandenes Ätzmuster



Abbildung 15a & b: a) Mit der Sonde wird der Versiegler blasenfrei in der Fissur verteilt, b) Entfernen des Überschusses mit Schaumstoffpellet

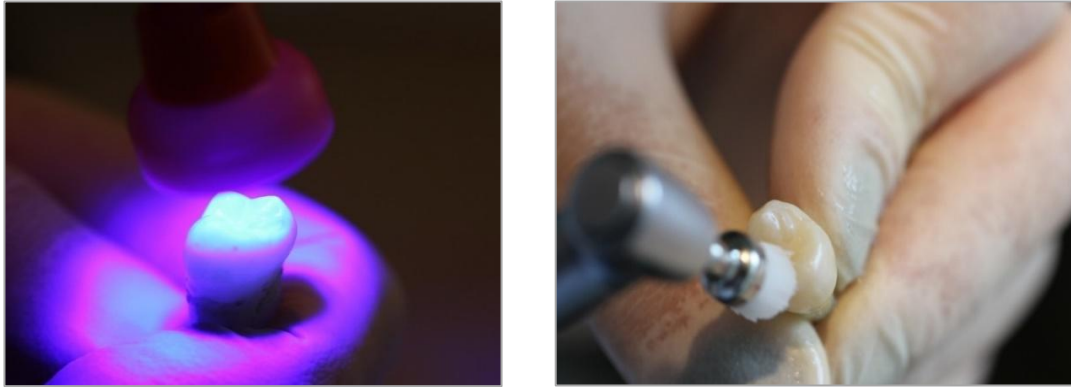


Abbildung 16 a & b: a) Fissurenversiegelung wird durch die Polymerisations-Lampe ausgehärtet, b) Politur der Versiegelung.

2.3.4 Artificielle Alterung der Zähne im Kausimulator

Um die Alterung der Versiegelungen im Mund zu immitieren, wurde eine Kausimulation durchgeführt (Abb. 17b). Hierzu durchliefen alle Zähne 50.000 Zyklen mit einer Kaukraft von 50 Newton. Eine spezielle Hirse-Hydroxylapatit-Suspension diente als Ersatz für den Nahrungsbrei (Abb. 17a). Auch nach diesem Schritt erfolgten wieder Laserfluoreszenzmessungen mit Diagnodent, Diagnodent Pen und der Vista Cam iX (t3).

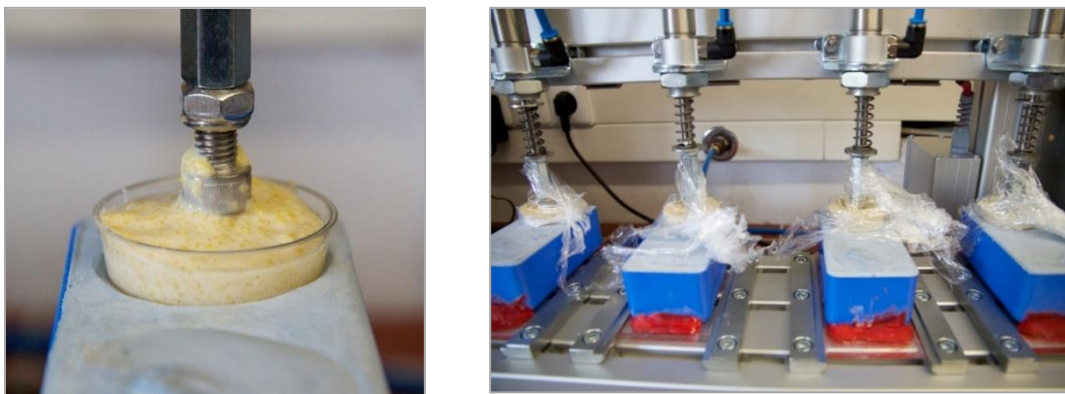


Abbildung 17 a & b: a) Eine Hirse-Hydroxylapatit-Suspension immitiert den Nahrungsmittelbrei im Kausimulator, b) gleichzeitig mehrere Zähne durchlaufen die künstliche Alterung. Die Folie um jeden Zahn vermeidet die Austrocknung.

2.3.5 Statistische Auswertung

Die Werte, welche mit den zwei Diagnodent- Systemen und den ausgewerteten VistaCam iX Aufnahmen entstanden, wurden in einem Tabellenkalkulationsprogramm (Excel, Microsoft, Seattle, USA) erfasst und bearbeitet. Zur statistischen Auswertung erfolgte der Datentransfer von Excel in SPSS, Version 14.0 (SPSS Inc., Chicago, USA). Alle Werte wurden mit dem Shapiro-Wilk Test auf Normalverteilung untersucht.

Der endgültigen Auswertung vorangehend wurde die jeweilige Probengröße pro Testgruppe unter Verwendung der GPower-Software [Erdfelder et al., 1996; Faul und Erdfelder, 1992] mit einer Power von mindestens 0,80 und einem Alpha-Fehler von 0,05 berechnet [Cohen, 1988]. Anschließend wurde eine Kombination des Friedman- und Wilcoxon-Tests gewählt, um statistisch signifikante Unterschiede der Messungen herauszufinden. Unterschiede galten als signifikant bei $p < 0,05$. Stellte sich im Friedman Test beim Vergleich einer Gruppe zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten ein Unterschied von $< 0,05$ heraus, wurde der Wilcoxon Test hinzugezogen, um die genauen Unterschiede in den Teilvergleichen hervorzuheben. Anhand von Box-Plot-Diagrammen wurden die Auswertungen veranschaulicht. Diese zeigten die Median-, Minimal- und Maximalwerte, sowie das erste und dritte Quartil an. Als Ausreißer stellen sich Werte dar, die das 1,5- bis 3-fache des Interquartilsabstandes betragen. Sie sind mit einem Kreis im Diagramm markiert. Werte die mehr als das 3-fache höher waren als die des Interquartilsbereiches erscheinen im Diagramm als Stern (Abb. 18).



○	Ausreißer, die das 1,5- bis 3- fache des Interquartilsabstands betragen.
★	Ausreißer, die mehr als das 3-fache des Interquartilsabstand betragen.
I	Bereich ohne Ausreißer
	Interquartilsabstand: Datenbereich in dem sich die mittleren 50% der Daten befanden. Der horizontale Strich entspricht dem Medianwert.
	Signifikanzwert: Kennzahl zur Auswertung statistischer Tests. Das Signifikanzniveau wurde mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $< 0,05$ festgelegt.

Abbildung 18: Erläuterung der Symbole aus Box-Plot-Diagrammen.

3. ERGEBNISSE

3.1 Auswertung der Messungen mit Diagnodent und Diagnodent Pen

Nach der ersten Messung mit dem herkömmlichen Diagnodent wurden die Zähne so in den Gruppen verteilt, dass eine möglichst gleiche Kariesverteilung in allen fünf Gruppen vorlag. Anzumerken ist, dass bei den Messergebnissen zwischen den beiden Laserfluoreszenzverfahren Diagnodent und Diagnodent Pen Unterschiede festgestellt wurden (Abb. 19, 20).

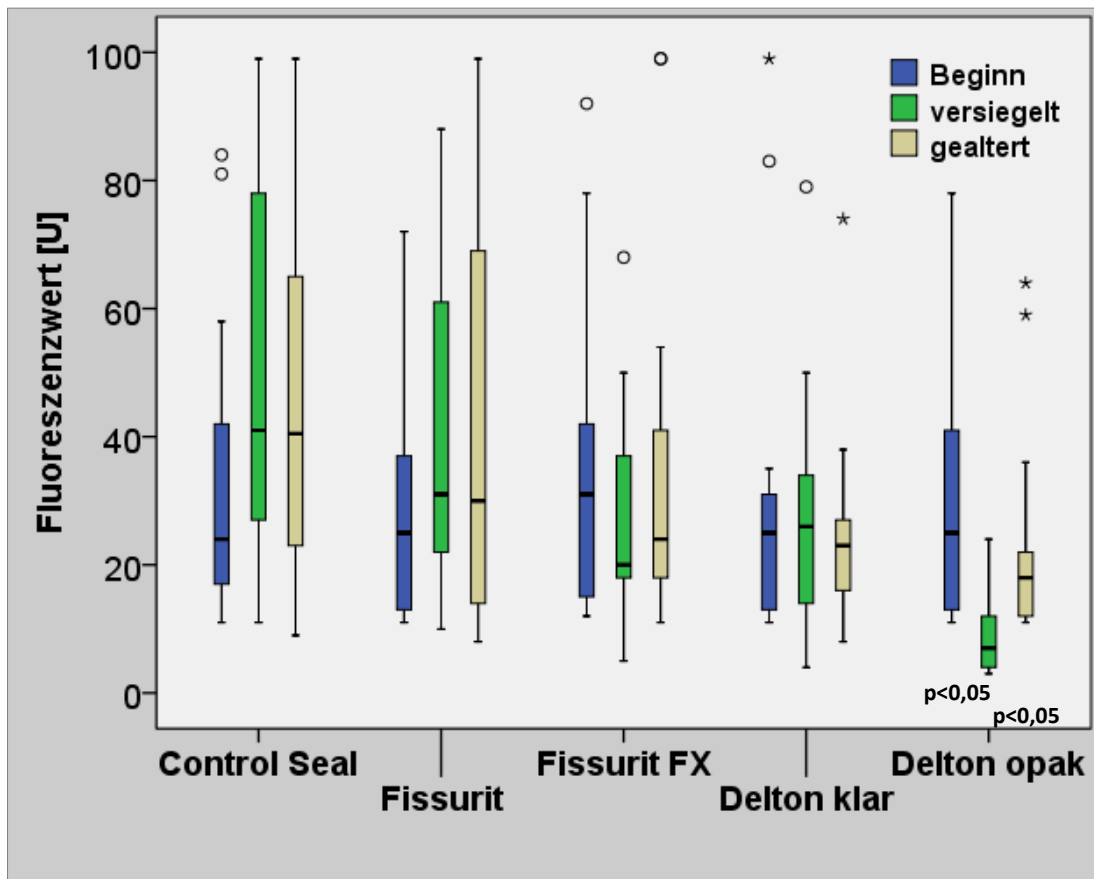


Abbildung 19: Mit dem Diagnodent Pen gemessene Fluoreszenzwerte zu Beginn, nach Versiegelung und nach künstlicher Alterung, pro Gruppe n=13.

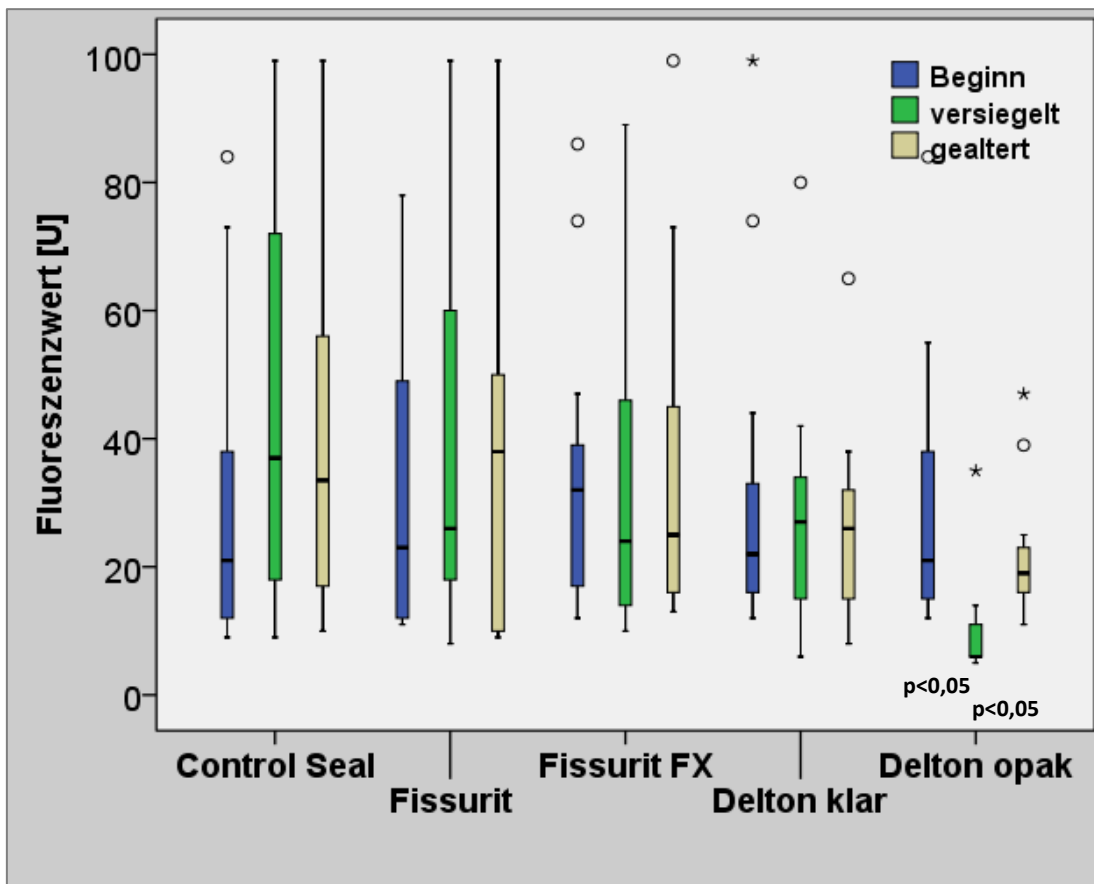


Abbildung 20: Mit dem klassischen Diagnodent gemessene Fluoreszenzwerte zu Beginn, nach Versiegelung und nach künstlicher Alterung, pro Gruppe n=13.

Die Boxplot-Diagramme veranschaulichen in Abb. 19 Fluoreszenz-Messungen mit Diagnodent Pen und in Abb. 20 mit dem herkömmlichen Diagnodent. Pro Versieglergruppe fanden die Messungen an jedem Zahn zu drei Zeitpunkten der Versuchsreihe statt:

- t1: Vor der Versiegelung (blauer Graf)
- t2: Nach der Versiegelung (grüner Graf)
- t3: Nach artifizierter Alterung im Kausimulator (grauer Graf)

Verglichen mit der Ausgangsfluoreszenz konnte eine Abnahme der Werte nach Versiegelung mit den weißen Materialien beobachtet werden. Besonders der Versiegler Delton opak zeigte hier im Friedman-Test statistisch auffällige Werte in den Messabschnitten t1 nach t2 sowie t2 nach t3 ($p<0,05$). Eine Zunahme der Fluoreszenz war nach Versiegelung mit dem mit Nanopartikeln gefüllten und den klaren Materialien zu beobachten. Die Abnutzung hatte keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die mit den Diagnodent-Systemen ermittelten Fluoreszenzwerte ($p>0,05$) (Abb. 19 & 20)

3.2 Auswertung der Messungen mit der Vista Cam iX

Bei den Aufnahmen mit der Vista Cam iX wurden pro Zahn immer drei Punkte (A, B, C) miteinander verglichen (Abb. 10, rechte Spalte). Hierbei handelte es sich um die Punkte, die in der ersten Messung (t1) am höchsten waren. In der ersten Grafik (Abb. 21) wurden die Mittelwerte aus den drei Messungen für die Auswertung genutzt. Jede Farbe der Diagramme steht für eine Versieglergruppe (Abb. 21, 22, 23, 24).

3.2.1 Mittelwerte

Auch in diesen Messungen wurden die Ausgangsfluoreszenzen (t1) mit den Werten zum Zeitpunkt t2 und t3 verglichen. Wie bei den Diagnodent Messungen konnte ein Abfall der Werte nach Versiegelung mit weißen Versiegeln verzeichnet werden. Hier war vor allem Fissurit Fx im Friedman-Test statistisch herausstechend ($p < 0,05$). Um die genauen Unterschiede in den Teilvergleichen hervorzuheben, wurde bei einer statistischen Abweichung von $p < 0,05$ der Wilcoxon-Test herangezogen. Dieser zeigt für Fissurit Fx, dass die größte Fluoreszenzabweichung von t1 jeweils nach t2 und t3 stattfand, wohingegen die Kausimulation die Werte nicht relevant veränderte. Im Durchschnitt fällt auch bei den klaren Versiegeln ein leichter Fluoreszenzabfall auf, welcher jedoch auch statistisch nicht signifikant ist. Hier hatte der experimentelle nanogefüllte Versiegler die konstantesten Mittelwerte.

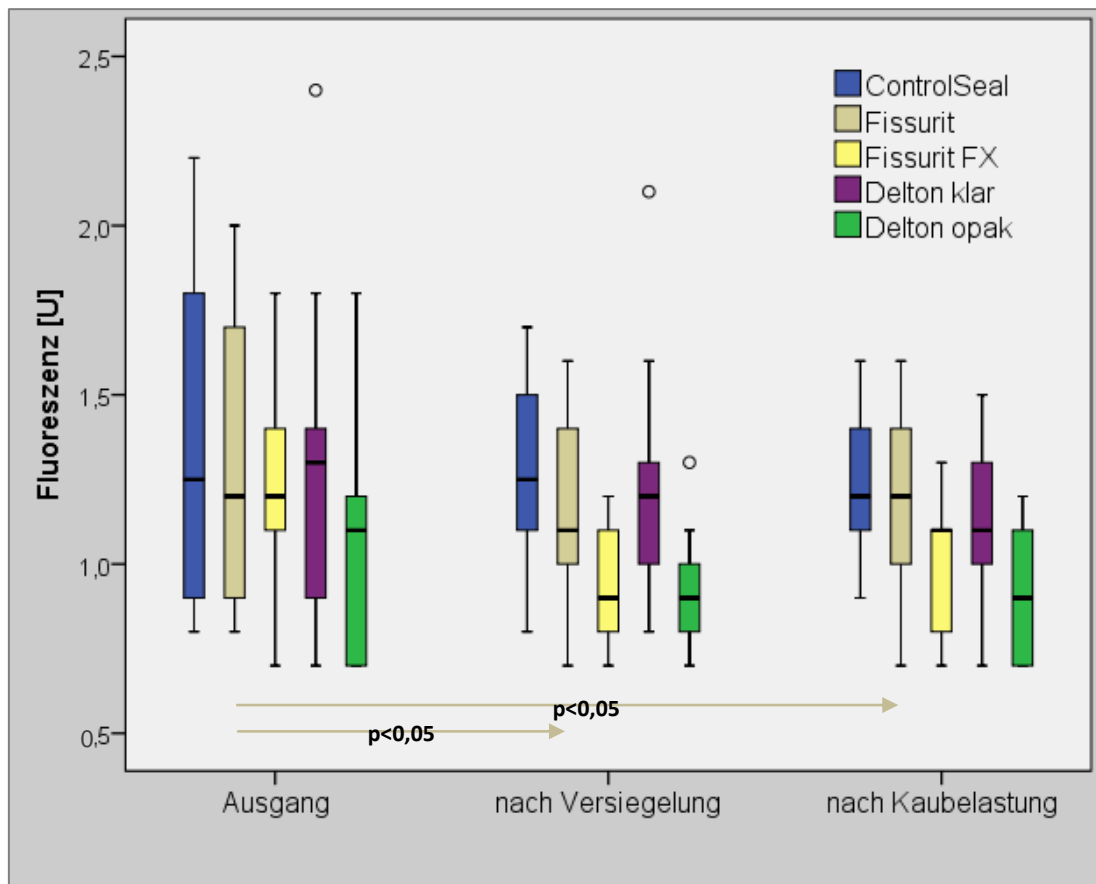


Abbildung 21: Mittelwerte der gemessenen Fluoreszenzwerte mit der VistaCam iX zu Beginn, nach Versiegelung und nach künstlicher Alterung, Messwerte pro Gruppe n=13.

3.2.2 Messpunkt A

Vergleicht man die einzelnen Messpunkte isoliert zu den Zeitpunkten t1, t2 und t3, fällt im Friedman-Test für Punkt A (Abb. 22) vor allem Fissurit mit $p < 0,05$ auf (graue Balken). Der Wilcoxon-Test zeigt auch hier, dass die Versiegelung den hauptsächlichsten Fluoreszenzwertabfall verursachte, die artifizielle Alterung jedoch kaum Einfluss auf die Werte hatte. Die Zähne, die mit Fissurit Fx (gelbe Balken) versiegelt wurden, zeigten an allen drei Messpunkten (A, B, C) dieselbe Wertänderung wie in Kap. 3.2.1 beschrieben. Die Messungen der anderen Versieglergruppen blieben für diesen Punkt statistisch unverändert, obwohl auch für den opaken Versiegler von Delton ein tendenzieller Wertabfall zu verzeichnen ist.

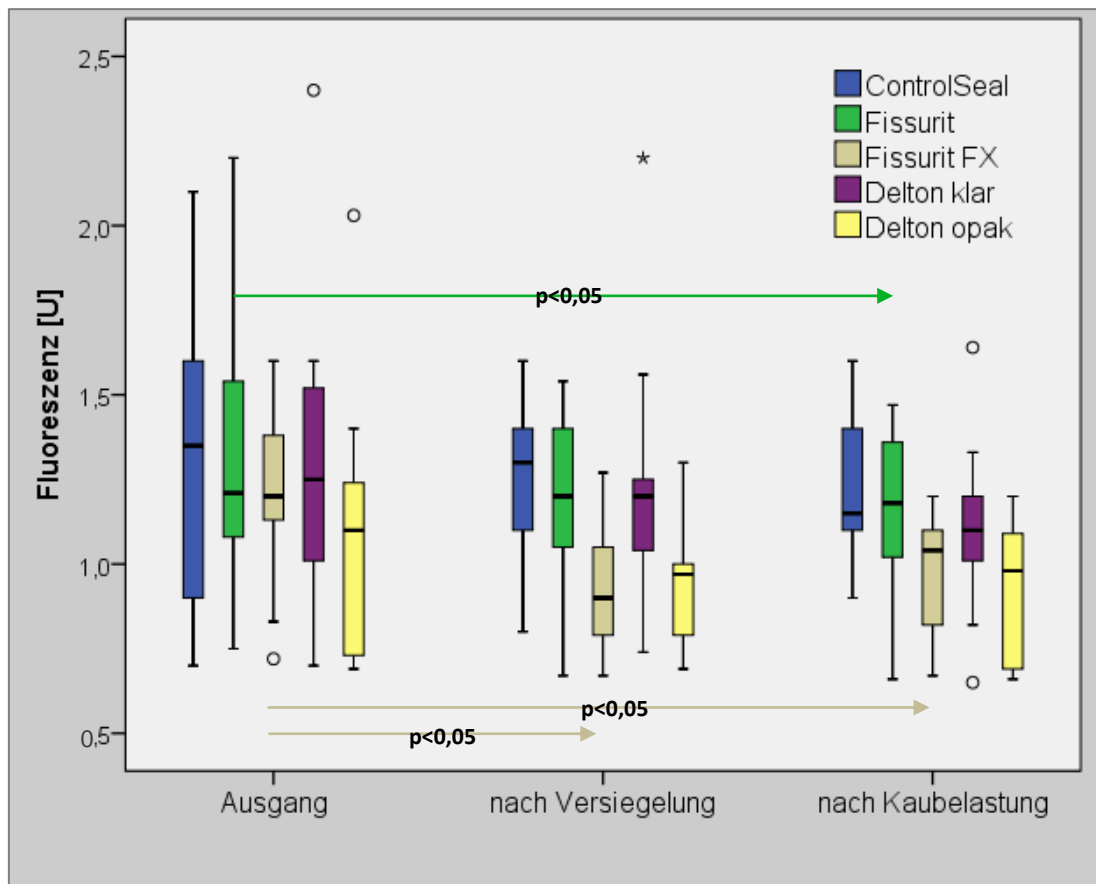


Abbildung 22: Isolierte Fluoreszenzwerte für Messpunkt A mit der VistaCam iX zu Beginn, nach Versiegelung und nach künstlicher Alterung, Messwerte pro Gruppe n=13.

3.2.3 Messpunkt B

Die Tendenz der Fluoreszenzwert-Absenkung der opaken Versiegler spiegelt sich auch in der Auswertung der Werte an Messpunkt B wieder, wobei nur die Werte der mit Fissurit Fx statistisch signifikant abwichen (s. Kap. 3.2.1 & 3.2.2). Die Fluoreszenzen des experimentellen Versieglers, sowie von Fissurit blieben in den drei Messungen eher konstant.

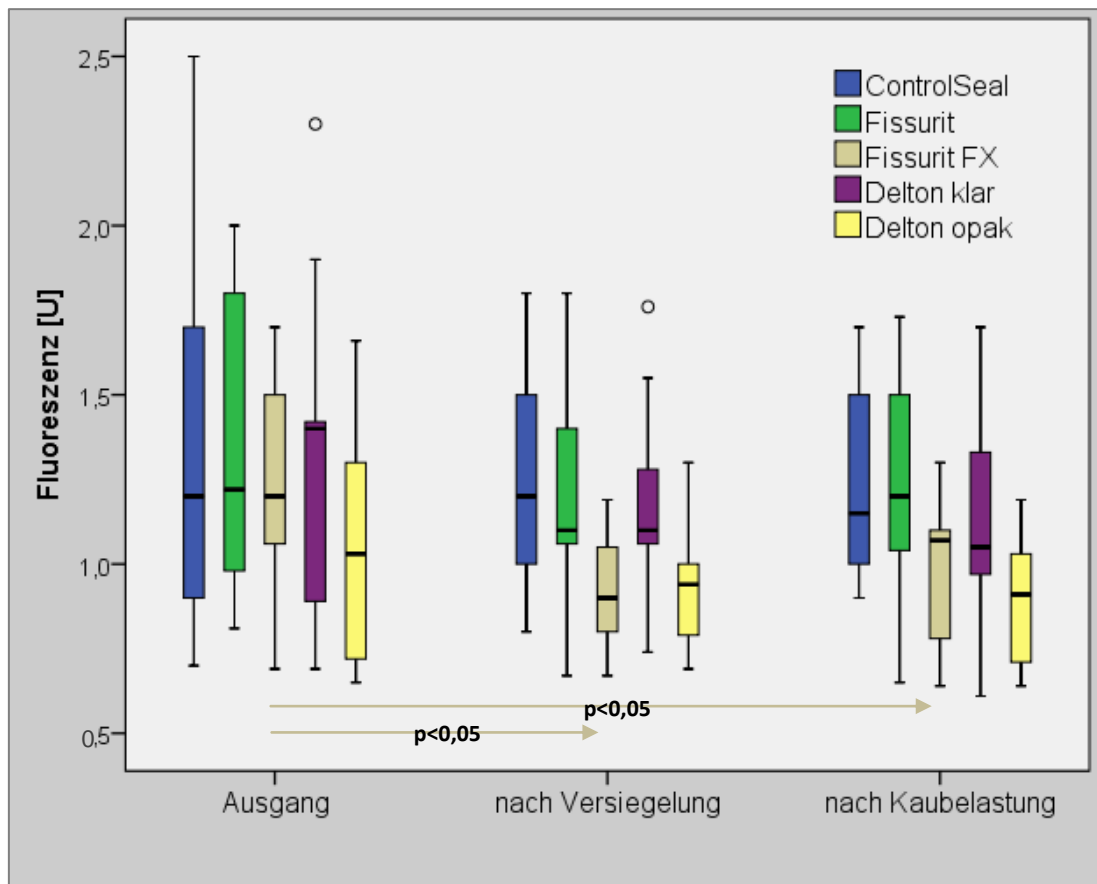


Abbildung 23: Isolierte Fluoreszenzwerte für Messpunkt B mit der VistaCam iX zu Beginn, nach Versiegelung und nach künstlicher Alterung, Messwerte pro Gruppe n=13.

3.2.4 Messpunkt C

Die ermittelten Fluoreszenzwerte verhalten sich für Messpunkt C ähnlich den Werten an Punkt B (vergl. Kap. 3.2.3).

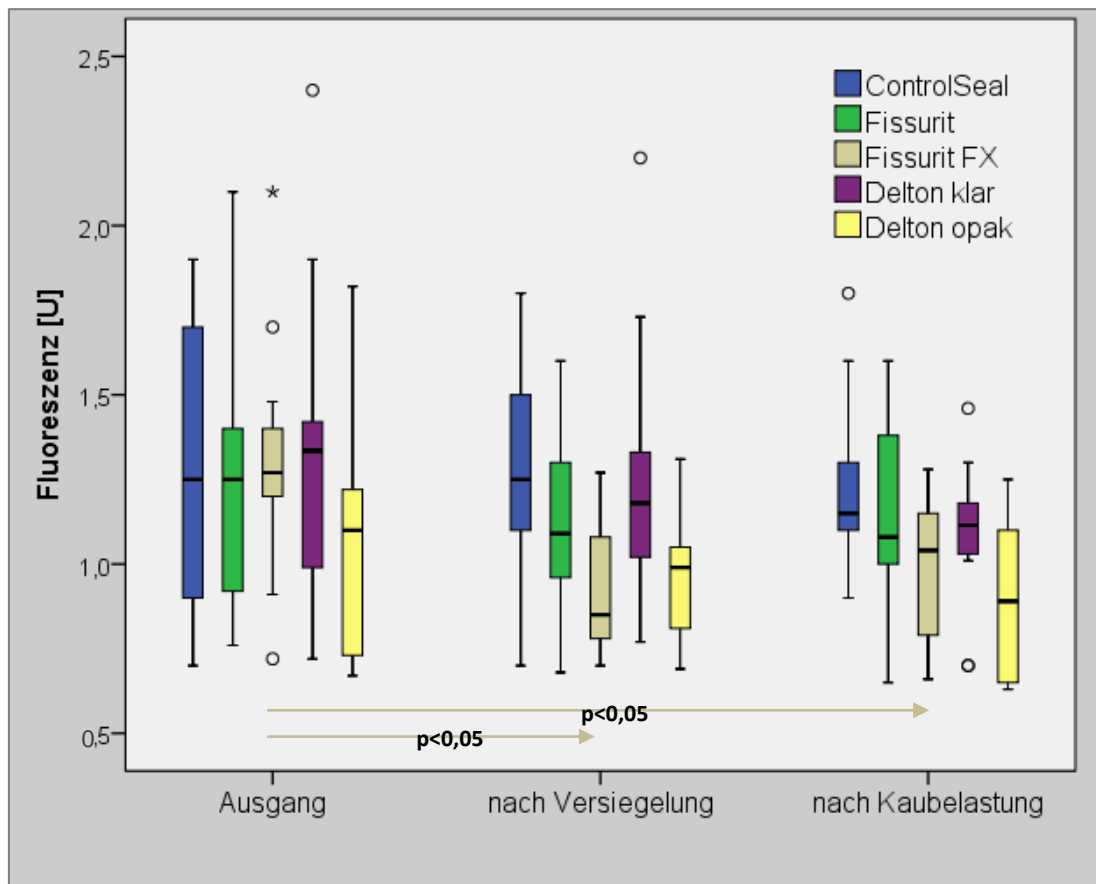


Abbildung 24: Isolierte Fluoreszenzwerte für Messpunkt C mit der VistaCam iX zu Beginn, nach Versiegelung und nach künstlicher Alterung, Messwerte pro Gruppe n=13.

3.3 Zusammenfassung der Auswertung

Sowohl mit den beiden Diagnodent-Systemen des Diagnodent, als auch mit der Vista Cam iX konnte, verglichen mit der Ausgangsfluoreszenz eine Abnahme der Werte nach Versiegelung mit den weißen Materialien beobachtet werden ($p < 0,05$). Bei der Auswertung der Diagnodent-Messungen ließ sich eine leichte Zunahme der Fluoreszenz nach Versiegelung mit dem mit Nanopartikeln gefüllten und den klaren Materialien beobachten. Wohingegen die Vista Cam iX Werte bei diesen Versiegeln eine statistisch insignifikante Tendenz hatten zu sinken. Der experimentelle Versiegler zeigte die konstantesten Werte, die im Mittelwert erst in der zweiten Nachkommastelle variierten. Die Abnutzung hatte keinen Einfluss auf die mit den Diagnodent-Systemen und der VistaCam iX Kamera ermittelten Fluoreszenzwerte ($p > 0,05$) (Abb. 20-22).

4. DISKUSSION

4.1 Methodendiskussion

4.1.1 Auswahl, Lagerung und Reinigung der Zähne

Die verwendeten menschlichen Zähne der hier vorliegenden Studie wurden kurz vor Beginn der Versuche extrahiert und danach umgehend in einem Gefäß mit Kochsalzlösung (Natriumchlorid-Lösung) und Natriumacid-Zusatz gelagert. Neben der Verhinderung des Austrocknens und des fortlaufenden bakteriellen Befalls, sollte der Zustand des jeweiligen Zahnes konserviert werden, welcher mit den tatsächlichen in vivo-Bedingungen vergleichbar ist. In verschiedenen Studien wurde bereits belegt, dass diese verwendete Lösung keinen Einfluss auf die fluoreszenzoptische Untersuchung hat [Shi et al., 2001; Schweizer, 2011].

Die Auswahl der Zähne erfolgte nach definierten Kriterien. Ausschließlich Molaren und Prämolaren ohne konservierende oder prothetische Restaurationen wurden verwendet. Klinisch ergab sich bei den untersuchten Zähnen ein Verdacht auf eine Fissurenkaries, die in der ersten Messung mit dem Diagnodent einen Mindestwert von 10 aufweisen musste. Weder Geschlecht oder Alter waren relevant für die Auswahl. Vor Beginn der fluoreszenzoptischen Untersuchungen wurden die Zähne mit Prophylaxe-Bürstchen und Paste (Zircate) gereinigt, da in früheren Studien bereits festgestellt wurde, dass Biofilm und Plaque bei der Kariesdiagnostik mit Diagnodent falsch-positive Ergebnisse begünstigen können [Braun et al., 1999; Lussi et al., 1999]. Zwar wurde die Reinigung mit dem Pulverstrahl-Verfahren z.B. von *Brocklehurst et al.* [1992] empfohlen, um dem Versiegler ein tieferes Eindringen in die Fissur zu ermöglichen. In anderen Studien jedoch wurde die Methodik der Zahnreinigung selbst als einflusslos auf fluoreszenzoptische Untersuchungsergebnisse betrachtet [Braun et al., 1999].

4.1.2 Fissurenversiegelung als Teil des zahnärztlichen Prophylaxeprogramms

Der seit Jahren beobachtete Trend des Kariesrückgangs in Deutschland bzw. den westeuropäischen Ländern [Marthaler, 2004; Pieper, 2010] (s. Kap. 1.2.2.2) soll durch moderne zahnärztliche Diagnose- und Therapiekonzepte unterstützt und verstärkt werden. Da die Okklusalfächen erster und zweiter Molaren typischerweise die als erstes befallenen Flächen des bleibenden Gebisses sind [Hannigan et al., 2000], gerät insbesondere Okklusalkaries in den Fokus. Bei der Reinigung dieser Flächen kann die individuelle Fissurenmorphologie die Plaque-entfernung erschweren bzw. unmöglich

machen. In diesen Retentionsnischen wird die Bakterienansammlung und somit das Wachsen von Mikrobiotopen ermöglicht, was dann in den meisten Fällen zu Karies führt [Lussi et al., 1995; Laurisch, 2007]. Bei dem Rückgang der Karies spielt neben Prophylaxe-Maßnahmen wie Aufklärungsarbeit und Fluoridierung [Gängler et al., 2005] der kariesprophylaktische Effekt der Fissurenversiegelung eine wichtige Rolle, wie in zahlreichen Studien nachgewiesen wurde [Riethe 1988; Trummel & Trummel, 1990]. Die Entscheidung, ob man gereinigte, subjektiv gesehen kariesfreie Fissuren versiegelt oder initiale Läsionen invasiv behandelt, ist schwer zu objektivieren [Krause et al., 2008]. Als optimaler Zeitpunkt für die Fissurenversiegelung kann der kariesfreie Zustand kurz nach Durchbruch der Okklusalfäche angesehen werden. Manche Autoren sehen jedoch das prophylaktische Versiegeln eines gesunden Zahnes als Überbehandlung an bzw. empfehlen das Versiegeln von Zähnen mit okklusal initialen Läsionen [Heller et al., 1995], da der bakteriendichte Verschluss der Fissur durch Komposite mikrobielle Vorgänge arretieren soll und somit das weitere Fortschreiten der Karies stoppt [Mertz-Fairhurst et al., 1998; Handelman et. al., 1976; Jeronimus et al., 1975; Kramer et al., 1993]. Alternativ kann man auch fragwürdige Fissuren eröffnen und die Karies vor der Versiegelung entfernen [Theodoridou-Pahini et al., 1996]. Unabhängig von der gewählten Behandlungsvariante des Zahnarztes sind die exakte klinische Ausführung und die Retention des Versieglers die entscheidenden Faktoren für das Aufhalten des Läsionsfortschrittes bzw. das Verhindern von Sekundärkaries [Heinrich-Weltzien et al., 1999]. Wenn die Versiegelung nämlich nicht randständig ist oder Retentionsnischen durch Abnutzung entstehen, kann dies wieder zu einem aktiven Kariesprozess führen [Simonsen, 2002].

4.1.3 Auswahl der Diagnostikmethoden

Trotz aller Maßnahmen zur Kariesvorsorge sind, wie in Kapitel 1.2.4 aufgeführt, Sekundärkaries oder Rezidive unterhalb von Fissurenversiegelungen nicht ausgeschlossen [Simonsen, 2002]. Daher werden regelmäßige Zahnarztbesuche und ein dichtes Monitoring empfohlen, um Versiegelungen evtl. zu reparieren oder auszutauschen [Feigal, 2002].

Für die Diagnose der Okklusalkaries existieren viele diagnostische Methoden, von denen jede Vor- und Nachteile sowie einen individuellen Indikationsbereich besitzt. Um eine möglichst präzise Erfassung okklusaler Läsionen zu ermöglichen, bietet sich die Kombination verschiedener Verfahren an [Ricketts et al., 2002; Souza-Zaroni et al.,

2006]. Basis der zahnärztlichen Untersuchung stellt dabei nach wie vor die visuelle Inspektion dar. Die Diagnostik okklusaler Läsionen wird jedoch durch Veränderungen ihres klinischen Erscheinungsbildes erschwert. In Kapitel 1.2.2.1 wurde der Begriff „hidden caries“ bereits erläutert. Diese Art von Karies ist von einer nur scheinbar gesunden Schmelzoberfläche bedeckt und kann sich dadurch visueller Detektion entziehen [Weerheijm et al., 1997]. Laut *Rodriguez et. al.* [2008] sei die okklusale Karies am zuverlässigsten mit einer Kombination aus dem visuellen ICDAS-II-System und Bissflügelaufnahmen zu diagnostizieren.

Da aber die röntgenologische Diagnostik okklusaler Läsionen erst ab einer fortgeschrittenen Karies zuverlässig ist und um den Patienten vor erhöhter Strahlendosis zu schützen [Heinrich-Weltzien et al., 2002], finden Diagnostikmethoden auf Basis von Laserfluoreszenz immer mehr Bedeutung im Praxisalltag [Bader & Shugars, 2004]. Hier hat sich das Diagnodent-System im Bereich der okklusalen Kariesdetektion mehrfach wissenschaftlich bewährt [Shi et al., 2000; Attrill & Ashley, 2001; Lussi et al., 2001 & 2004; Heinrich-Weltzien et al., 2002; Lussi & Francescut, 2003]. Sowohl Diagnodent Standard als auch die Pen Version glänzen mit sehr guten Werten für Sensitivität [Krause et al., 2008]. Zudem machen sie objektives Langzeitmonitoring aufgrund der guten Reproduzierbarkeit und der Zahlenwertangabe möglich [Lussi & Francescut, 2003; Kühnisch et al., 2007b]. Als Hilfestellung bei der Entscheidung zwischen präventiver und invasiver Behandlung wird der Einsatz von Diagnodent vor allem bei Zweifeln der visuellen Diagnostik empfohlen [Lussi et al., 2001; Krause et al., 2008]. Anzumerken ist jedoch die Abweichung der Zahlenwerte zwischen Diagnodent und Diagnodent Pen bei der Messung identischer Fissurenabschnitte. Wie in der vergleichenden Studie von *Kühnisch et al.* [2007] bereits gezeigt wurde, kam es bei Messungen mit der Pen Version zu generell höheren Fluoreszenzwerten als mit der herkömmlichen Version [Kühnisch et al., 2007].

Auch das VistaCam iX-Fluoreszenzkamerasystem verspricht ein wertvolles Hilfsmittel bei der objektiven Karieserfassung und der Verlaufskontrolle zu werden. Neben den Zahlenwertangaben entstehen bei der Diagnostik intraorale Kamerabilder. Mit Fluoreszenzbildern, die Zahnkonturen deutlich erkennen lassen, wird die Kommunikation mit dem Patienten erleichtert. Die Diagnose wird anschaulich dargelegt, was Missverständnisse vermindert und die Patienten-/ Arzt-Compliance steigert. Wie das Diagnodent, ist das Gerät für erfahrene Untersucher sowie in der studentischen Ausbildung gleichermaßen anwendbar [Schipper, 2012].

2011 stellten *de Benedetto et. al.* einen Vergleich der Vista Cam iX mit den Laserfluoreszenzgeräten Diagnodent und Diagnodent Pen auf. Auch sie ermittelten eine moderate bis hohe Reproduzierbarkeit bei der Untersuchung von 129 Milchzahn-Okklusalfächchen. Die Systeme zeigten dabei eine signifikante Korrelation.

4.1.4 Studiendesign

In-vitro-Studien sind laut *Pitts* [2001] grundsätzlich für Validierungszwecke geeignet. Wenn sich jedoch die Ergebnisse der in-vivo-Studien von denen der in-vitro-Untersuchungen unterscheiden, kommen Zweifel an der Allgemeingültigkeit von In-vitro-Beobachtungen auf. Folglich beinhaltet das ideale Studiendesign zunächst eine Kariesdiagnostik in-vivo und anschließend eine erneute Auswertung derselben Flächen in-vitro. Um jedoch einen Zahn zu extrahieren, ist selbstverständlich eine ethisch zweifelsfreie Indikation erforderlich [Pitts, 2001]. Diese Verfahrensweise für das „ideale Studiendesign“ würde somit mit einem immensen logistischen Aufwand einhergehen. In der vorliegenden Studie wurden im Sinne einer klassischen Laborstudie alle Untersuchungen in-vitro vorgenommen. Durch adäquate Rahmenbedingungen wie die Lagerung der Zähne in einem idealen Medium wurde somit eine in-vivo Situation imitiert. Einige Faktoren fanden jedoch, trotz angestrebter Nähe zur klinischen Situation, keine Berücksichtigung. Beispielsweise wurde weder das umliegende Weichgewebe, noch die Mundhöhle an sich imitiert. Auch Speichereigenschaften, Patientenalter, das allgemeine Kariesrisiko und Sozialanamnesen wurden bei dieser Studie vernachlässigt.

Die Ergebnisse dieser Studie können also nicht uneingeschränkt auf die In-vivo-Situation übertragen werden. Dennoch ist vor jeder In-vivo-Untersuchung eine Validierung von Material und Methode in-vitro sinnvoll, um nachfolgende klinische Untersuchungen für größtmögliche Effizienz und medizinische Aussagekraft zu modifizieren.

4.2 Ergebnisdiskussion

Auch andere Studien, in denen an kariös versiegelten Zähnen fluoreszenzoptische Untersuchungen durchgeführt wurden, führten zu vergleichbaren Diagnosen mit der hier vorliegenden in-vitro Studie [Hosoya et al., 2004; Takamori et al., 2004; Deery et al., 2006; Krause et al., 2008]. Beispielsweise kamen *Krause et al.* [2008] mit beiden Diagnodent Systemen und *Gaitzsch* [2012], unter Nutzung der Vista Cam iX, in ihren

Untersuchungen zur Kariesdiagnostik mit Laserfluoreszenz unter Versiegelungen auf ähnliche Ergebnisse. Unterhalb weißpigmentierter Versiegelungen konnten kariöse Läsionen nicht zuverlässig aufgedeckt werden, wohingegen sich beide Diagnostikmittel bei transparentem sowie dem experimentellen nanogefüllten Versiegler als nützliche Diagnosehilfe erwiesen [Takamori et. al., 2001; Gaitzsch, 2012]. Die Studie von *Takamori et al.* [2001] unterschied sich jedoch leicht von der hier Vorliegenden. Anstelle des experimentellen nanogefüllten Versieglers wurde dort ein roter Versiegler getestet. Im Vergleich zu einem weißpigmentierten Versiegler stellte sich dieser besser dar. Anders als der weiße Versiegler ließ der rot eingefärbte, wie die transparenten Versiegler die Diagnostik von Karies unterhalb der Versiegelung zu. *Takamori et al.* [2001] mutmaßen, dass die verhältnismäßig ungünstigen Detektionsergebnisse bei opaken Versieglern auf deren Pigmentstoff Titandioxid basieren. Laut mehreren Autoren könnte dieses Pigment entweder das emittierte Licht des Detektionsgerätes oder die Fluoreszenz des kariösen Gewebes absorbieren und somit die Werte beeinflussen. *Deery et al.* [2006], welche nur einen transparenten Versiegler testeten, befanden das Diagnodent System zwar ebenfalls als nützliche diagnostische Unterstützung, vermerkten jedoch einen Intensitätsverlust der Fluoreszenzmesswerte. In der hier vorliegenden Untersuchung wurden die Werte in den Messungen mit der Vista Cam iX durch klare Versiegler zwar auch leicht vermindert, bei den Messungen mit Diagnodent und Diagnodent Pen stiegen sie dahingegen tendenziell. Zu diesem statistisch nicht signifikanten Anstieg der Messwerte nach Versiegeln mit klarem Material kam es auch in der Studie von *Diniz et al.* [2008]. Im Gegensatz dazu hatten in einer in-vivo Studie von *Anttonen et al.* [2003] und bei *Krause et al.* [2008] klare Versiegler keinerlei Einfluss auf die Fluoreszenzwerte mit Diagnodent. Dieser Unterschied könnte laut *Diniz et al.* an der unterschiedlichen Lagerung der Zähne liegen. *Deery et al.* nutzten 1%ige Thymollösung. *Krause* nutzte eine physiologische Saline Lösung, *Diniz et. al.* frohren die Versuchszähne zwischen den experimentellen Schritten ein, was keinerlei Einfluss auf die Fluoreszenz haben soll. In dieser Studie lagerten die Zähne zwischen den Versuchen in einer 0,9% NaCl + 0,001% Natriumazid –Lösung.

Weitere Unterschiede in Studien sollten bei den Vergleichen mit einbezogen werden. Zum Beispiel die Dicke des Versiegelungsmaterials oder die unterschiedlichen Ätzzeiten mit Phosphorsäure. Fluoreszenzmessungen an Zähnen nach reinem Ätzen sollen bestätigt haben, dass das Herauslösen von Schmelzanteilen Einfluss auf die

Werte haben soll. *Diniz et al.* vermuten diese Tatsache als Grund für den tendenziellen Anstieg der Messwerte nach Versiegelung mit klarem Material. Weiterhin soll laut *Gostanian et al.* [2006] die intrinsische Fluoreszenz der Versiegler (klar und opak) Einfluss auf die Diagnodent Messungen haben, solange sie sich nicht von der Karies-eigenen Fluoreszenz unterscheidet. Dieses Phänomen würde die Wahrscheinlichkeit auf falsch-positive Ergebnisse erhöhen. *Diniz et al.* [2008] führten Fluoreszenzmessungen an Zähnen mit Versiegelungen der Stärke 0,5 sowie 1,0 mm durch. Sie fanden damit heraus, dass die größere Schichtdicke nur bei Delton clear zu erhöhten Werten führte. Sowohl der opake Versiegler als auch der experimentelle nanogefüllte klare Versiegler zeigten keinerlei Messwertänderung.

Folglich hat die Dicke von opaken Versiegler keinen Einfluss auf Fluoreszenzmessungen. Wie oben beschrieben, soll laut *Takamori et al.* [2001] und *Gostanian et al.*, [2006] eher die durch Titandioxid erhöhte intrinsische Fluoreszenz für das Absinken der Werte nach Versiegelung mit opakem Material verantwortlich sein. Nicht zu vergessen seien die Streuung von ein- und austretenden Lichtstrahlen sowie der Reflektion, welche sich von denen bei klaren Versiegler unterscheiden.

Die artifizielle Alterung der Okklusalfächen im Kausimulator sollte die tägliche Abnutzung durch Kauvorgänge beim Essen simulieren. Die hierbei verwendete Hirse-Hydroxylapatit-Suspension nahm hierbei die Rolle der Nahrung ein. Die Fluoreszenzwerte nach der Kausimulation blieben sowohl mit Diagnodent, Diagnodent Pen, als auch mit der Vista Cam iX konstant, obwohl mit den Diagnodent-Systemen bei Fissurit, Fissurit Fx und Delton opak ein leichter Anstieg, sonst immer ein statistisch insignifikantes Absinken der Werte zu verzeichnen war. Bei *Simmons et al.* [1976] stiegen die Werte nach der Kausimulation mit Diagnodent und Diagnodent Pen immens an. Da dabei jedoch andere Versiegler getestet wurden und auch in der Methodik der Kausimulation das Augenmerk vor allem auf dem thermischen Stress der Mundhöhle lag, kann ein Vergleich mit dieser Studie nur unzureichend vorgenommen werden.

Nach der Kausimulation stiegen die Fluoreszenzwerte der opaken Versiegler vor allem bei Delton opak an. Auch *Diniz et al.* [2008] stellten bei ihren Messungen einen leichten Anstieg fest. Sie begründen dies mit einer durch die Beanspruchung entstandenen Farbänderung des Materials. Auch könnte laut *Diniz et al.* ein Verlust der Verbundstärke zwischen Versiegelungsmaterial und Schmelz dafür verantwortlich sein. Bei den klaren Versiegler beobachteten *Diniz et al.* einen Anstieg der Messwerte nach der artifiziellen Alterung in Verbindung mit Mikrorissen im Versiegelungsmaterial. Sie

diskutieren diese Risse als Grund für die ansteigenden Werte, da dadurch mehr Licht die Okklusalfäche erreichen könne. In der vorliegenden Studie haben bei allen Diagnostikmethoden die Werte von Delton klar auch eine leichte Tendenz zu sinken, wohingegen die von Fissurit FX ansteigen. Diese Änderung der Werte ist jedoch statistisch nicht signifikant und kann somit auch in der klinischen Diagnostik außer Acht gelassen werden.

Auch in diesem Messabschnitt schnitt der experimentelle nanogefüllte Versiegler mit den stabilsten Werten wieder am Besten ab, obwohl dieser Versiegler auch Füllpartikel enthält. Diese Nanofüller sind viel kleiner als die Wellenlängen des Lichts, wodurch sie selbst mit dem Brechungsindex nicht erfasst werden können. Die Nanopartikel-gefüllten Versiegler erlauben mit ihrer hohen Lichtdurchlässigkeit [Mitra et al., 2003] den langen Wellenlängen des Lichts also eine direkte Passage, ohne einen signifikanten Einfluss auf die Wellenlänge auszuüben [Mitra et al., 2003; Krause et al., 2008]

4.3 Klinische Schlussfolgerung

Diese in-vitro Studie hat gezeigt, dass opake und klare Versiegelungen Fluoreszenzwerte beeinflussen. Abhängig von den Materialeigenschaften steigen oder sinken die Werte. Bei den klaren, ungefüllten Versiegeln sind die Fluoreszenzabweichungen so gering, dass sie für die Klinik irrelevant sind. Opake Versiegler lassen jedoch keine ausreichende Kariesprogredienzbestimmung mit Laserfluoreszenz zu. Obwohl frühere Studien zeigten, dass ungefüllte, klare Versiegler tiefer in Fissuren penetrieren und dort eine bessere Retention aufweisen [Rock et al., 1990; Simonsen, 2002], ermöglicht Nanotechnologie immer größere Schritte in der Verbesserung physikalischer und chemischer Eigenschaften von dentalen Materialien.

Bei der Verwendung neuartiger, mit Nanopartikeln gefüllter Versiegler kann eine vergleichbare Abnutzung mit den gefüllten, weißen Materialien erwartet werden. Durch die zusätzliche Möglichkeit einer langfristigen Kariesprogredienzbestimmung mit Laser-Fluoreszenz-Methoden könnten kariöse Prozesse unterhalb einer Versiegelung frühzeitig diagnostiziert werden. Wie schon in vorangegangenen Studien konnte hier eine zuverlässige Kariesverlaufskontrolle mit Laserfluoreszenz unter nanogefülltem Versieglermaterial festgestellt werden.

Die Innovationen und Möglichkeiten im Bereich der Nanotechnologie, aber auch der Fluoreszenzdiagnostik sind keinesfalls ausgeschöpft. Nicht nur die Kariesdiagnostik ist als breites Einsatzgebiet in der Zahnmedizin denkbar. Auch im Rahmen der

Oralchirurgie, Endodontologie und Parodontologie sind weitere Einsatzbereiche möglich [Papadopoulos et al., 2002; Ebihara et al., 2003; Krause et al., 2003], womit der Forschungsbedarf noch lange nicht abgedeckt ist.

Da es sich bei dieser Studie um eine in-vitro Untersuchung handelt, liegt auf diesem Gebiet noch weiterer Forschungsbedarf im Rahmen von klinischen Studien vor. Studien wie diese schaffen dafür wichtige Voraussetzungen wie die Validierung von Material und Methode, um nachfolgende klinische Untersuchungen für größtmögliche Effizienz und medizinische Aussagekraft zu modifizieren.

5. ENGLISCHE ZUSAMMENFASSUNG

The sealing of posterior teeth using low-viscosity composites is an important preventiv method in dentistry. Different studies proofed their long-term effectivity in reducing occlusal caries. Anyway, despite a sealing there is always a persisting risk of recurrent or secondary caries for instance due to fissuring.

According to caries detection fluorescence based methods have become established. Especially in the diagnostic of non-cavitated carious (hidden cares) lesions these systems are gaining in importance. To what extend fluorescence spectroscopy systems like Diagnodent (KaVo) or the VistaCam iX (Dürr) are able to detect and document carious processes under sealing material might depend on opacity and wear oft the composit because of daily mastication. The less abrasion of the sealer influences fluorescence values, the better aforementioned systems allow indication of caries progression.

This in-vitro study examined effects on fluorescence maesurements due to daily abrasion of sealing material. Four groups were treated each with two unfilled and two filled opaque composites. The fifth group was sealed using a new nano-particle filled material (Voco). All teeth at least had initial carious lesions. Before sealing, after sealing and after artificial ageing fluorescence measurements were made with Diagnodent, Diagnodent Pen and Vista Cam iX. Comparison of them to the values of the beginning this process showed that nano-filled composites had the least influence on fluorescence in the treated groups. Furthermore within the framework of caries diagnostic it allows a long-term determination using laser diagnosing tools.

6. DEUTSCHE ZUSAMMENFASSUNG

Die Versiegelung von Seitenzähnen mit dünnfließenden Kompositen wird prophylaktisch eingesetzt, um Fissurenkaries vorzubeugen. Forschungsergebnisse belegen eine langfristige Kariesreduktion durch Anwendung von Versieglern. Trotz guter Ergebnisse hinsichtlich der Kariesvorsorge, kann es bei erweiterten Versiegelungen zu Rezidivkaries kommen. Zudem besteht die Gefahr der Sekundärkaries, beispielsweise auf Grund von Spaltbildungen.

Im Rahmen der Kariesdetektion haben sich fluoreszenzbasierte Verfahren etabliert. Diese gewinnen vor allem bei der minimalinvasiven Diagnostik von nicht kavitierten kariösen Läsionen („hidden karies“) an Bedeutung. In wieweit Fluoreszenzspektroskopie-Systeme wie Diagnodent (KaVo) oder die VistaCam iX (Dürr) kariöse Vorgänge unterhalb von Versieglungsmaterialien nachvollziehen und dokumentieren können, könnte sowohl von der Opazität als auch der Abnutzung des Komposits durch alltägliche Kauvorgänge abhängig sein. Je weniger die Abnutzung des Versieglers die Fluoreszenzwerte beeinflusst, desto besser ist die Möglichkeit der Kariesprogredienz-Bestimmung mit obengenannten Systemen möglich. Ein neues Nanopartikel-gefülltes Versieglungsmaterial (Voco) wurde diesbezüglich mit 4 Kontroll-Versieglern verglichen.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes ist die Auswirkung einer in-vitro Abnutzung von Fissurenversieglern auf kariesbedingte Fluoreszenzwerte untersucht worden. Dazu wurden vier Gruppen menschlicher Zähne mit jeweils einem von zwei gefüllten und zwei ungefüllten Fissurenversieglern (Dentsply, Voco) behandelt. In der fünften Gruppe (Versuchsgruppe) erfolgte die Versiegelung mit einem Nanopartikel- gefüllten Versiegler (Voco). Alle Zähne besaßen okklusal kariöse Läsionen. Vor der Versiegelung (t1), nach der Versiegelung (t2) und nach einer künstlichen Alterung im Kausimulator (t3) wurden Fluoreszenzmessungen mit Diagnodent, Diagnodent Pen und Vista Cam iX durchgeführt. Nach dem Vergleich der Werte mit den Ausgangsfluoreszenzen, konnte in der vorliegenden in vitro-Studie festgestellt werden, dass der neuartige Nanopartikel-gefüllte Versiegler nach Alterung und Kauprozessen den geringsten Einfluss auf Fluoreszenzmessungen aufweist und im Rahmen der Kariesdiagnostik eine langfristige Progredienzbestimmungen mittels laseroptischen Diagnostikmitteln ermöglicht.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- ADDY, DOWELL (1986):
Dentine hypersensitivity: effect of interactions between metal salts, fluoride and chlorhexidine on the uptake by dentine. *Journal of oral rehabilitation*. 13. 599-605.
- AHOVUO-SALORANTA, HIIRI, NORDBLAD, MÄKELÄ, WORTHINGTON (2000)
Pit and fissure sealants for preventing dental decay in the permanent teeth of children and adolescents. *The Cochrane database of systematic reviews*. 1-12.
- ALLAIS (2010)
Karies Die Therapie. *R&W*; 2: 66-72.
- AL-TANNIR, GOODMAN (1994):
A review of chlorhexidine and its use in special populations. *Special care in dentistry : official publication of the American Association of Hospital Dentists, the Academy of Dentistry for the Handicapped and the American Society for Geriatric Dentistry*. 14. 116-122.
- ANDO, HALL, ECKERT, SCHEMEHORN, ANALOUI, STOOKEY (1997):
Relative ability of laser fluorescence techniques to quantitate early mineral loss in vitro. *Caries research*. 31. 125-131.
- ANGMAR-MÄNSSON, TEN BOSCH (1993):
Advances in methods for diagnosing coronal caries - a review. *Advances in dental research*. 7. 70-79.
- ANTTONEN, SEPPÄ, HAUSEN (2003):
Clinical study of the use of the laser fluorescence device DIAGNOdent for detection of occlusal caries in children. *Caries research*. 37. 17-23.
- ARENDS, DIJKMAN (1989):
Zahneputzen vor oder nach den Mahlzeiten? *Oral-prophylaxe, Verein für Zahnhygiene e.V.* 11. 39-40.
- ARWEILER (2009):
Die Anwendung von Chlorhexidin zur Prophylaxe und Therapie.
<http://www.zahnaerzteblatt.de/page.php?modul=HTMLPages&pid=581&page=4> (Zugriffsdatum: 23.06.2014).
- ARWEILER, MOMNELLI, WELK, ZIMMER, SCHLOZ (2011):
40 Jahre Chlorhexidin in der klinischen Forschung - Ist Chlorhexidin auch heute noch der Goldstandard? *ZWR*, 120: 318-323).
- ATTRILL, ASHLEY (2001):
Occlusal caries detection in primary teeth: a comparison of Diagnodent with conventional methods. *British dental journal*. 190. 440-443.
- AXELSSON (1989):
Präventivzahnmedizinische Programme. *Praktische Präventivzahnmedizin: 15 Jahre Erfahrung in Schweden. Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin = Revue mensuelle suisse d'odontostomatologie = Rivista mensile svizzera di odontologia e stomatologia / SSO*. 99. 1045-1051.
- AZARPAZHOOH, LIMEBACK (2008):
The application of ozone in dentistry: a systematic review of literature. *Journal of dentistry*. 36. 104-116.
- BAAKE (2003):
Erfurter Kariesrisiko-Studie – Zur Säureproduktion und Säuretoleranz verschiedener Laktobazillenarten. *Diss Med Jena*.
- BADER, SHUGARS (2004):
A systematic review of the performance of a laser fluorescence device for detecting caries. *Journal of the American Dental Association* (1939). 135. 1413-1426.
- BADER, SHUGARS, BONITO (2002):
A systematic review of the performance of methods for identifying carious lesions. *Journal of public health dentistry*. 62. 201-213.

- BEN-YAAKOV, FRIEDMAN, HIRSCHFELD, GEDALIA (1984):
Fluoride enhancement of chlorhexidine uptake by hydroxyapatite and enamel powders. *Journal of oral rehabilitation*. 11. 65–70.
- BERCHIER, SLOT, HAPS, VAN DER WEIJDEN (2008):
The efficacy of dental floss in addition to a toothbrush on plaque and parameters of gingival inflammation: a systematic review. *International journal of dental hygiene*. 6. 265–279.
- BRASLAVSKY, RUBIN (2011)
The history of ozone. Part VIII. Photochemical formation of ozone. *Photochemical & photobiological sciences : Official journal of the European Photochemistry Association and the European Society for Photobiology*. 10. 1515–1520.
- BRAUN, FRENTZEN, NOLDEN (1999):
Beeinflussung der Laser-Fluoreszenz-Messung durch Zahnreinigungsmaßnahmen. *Dtsch Zahnärztl Z* 54: 95-197.
- BRAUN, KRAUSE, FRENTZEN, NOLDEN (2000):
Durch Austrocknung bedingte Beeinflussung von Laser-Fluoreszenz-Messwerten. *Int Poster J Dent Oral Med*, . Vol 2. Poster 38.
- BROCKLEHURST, JOSHI, NORTHEAST (1992):
The effect of air-polishing occlusal surfaces on the penetration of fissures by a sealant. *International journal of paediatric dentistry / the British Paedodontic Society [and] the International Association of Dentistry for Children*. 2. 157–162.
- BRUNELLE, CARLOS (1990):
Recent trends in dental caries in U.S. children and the effect of water fluoridation. *Journal of dental research*. 69 Spec No. 723-7; discussion 820-3.
- BUONOCORE (1955):
A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *Journal of dental research*. 34. 849–853.
- BÜRKLEIN (2009):
Kariesdiagnostik in der Zahnheilkunde: ein Update. *Swiss Dental Community*. 2. jahrg. 04. 34–43.
- CÔRTEZ, ELLWOOD, EKSTRAND (2003):
An in vitro Comparison of a Combined FOTI/Visual Examination of Occlusal Caries with Other Caries Diagnostic Methods and the Effect of Stain on Their Diagnostic Performance. *Caries Research*. 37. 8–16.
- COHEN (1988):
Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2nd edition. Hillsdale New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates
- CÔRTEZ, ELLWOOD, EKSTRAND (2003):
An in vitro comparison of a combined FOTI/visual examination of occlusal caries with other caries diagnostic methods and the effect of stain on their diagnostic performance. *Caries research*. 37. 8–16.
- CRABB (1976):
Fissures at risk. *British dental journal*. 140. 303–307.
- CREANOR, RUSSELL, STRANG, STEPHEN, BURCHELL (1990):
The prevalence of clinically undetected occlusal dentine caries in Scottish adolescents. *British dental journal*. 169. 126–129.
- DE BENEDETTO, MORAIS, NOVAES, DE ALMEIDA RODRIGUES, BRAGA, MENDES (2011):
Comparing the reliability of a new fluorescence camera with conventional laser fluorescence devices in detecting caries lesions in occlusal and smooth surfaces of primary teeth. *Lasers in Medical Science*. 26. 157–162.
- DEERY, ILOYA, NUGENT, SRINIVASAN (2006):
Effect of placing a clear sealant on the validity and reproducibility of occlusal caries detection by a laser fluorescence device: an in vitro study. *Caries research*. 40. 186–193.

- DINIZ, RODRIGUES, HUG, CORDEIRO, LUSSI (2008):
The Influence of Pit and Fissure Sealants on Infrared Fluorescence Measurements. *Caries Research*. 42. 328–333.
- DONNAN, BALL (1988):
A double-blind clinical trial to determine the importance of pumice prophylaxis on fissure sealant retention. *British dental journal*. 165. 283–286.
- EBIHARA, KRASIEVA, LIAW, FAGO, MESSADI, OSANN, WILDER-SMITH (2003):
Detection and diagnosis of oral cancer by light-induced fluorescence. *Lasers in surgery and medicine*. 32. 17–24.
- EBERHART, FRENTZEN, THOMS (2007):
Neue Optische Methoden zur Kariesdetektion. Fluoreszenzbasierte Verfahren zur Erkennung nicht-kavitierter Läsionen. *ZWR Das deutsche Zahnärzteblatt*. 148–156.
- ERDFELDER, FAUL, BUCHNER (1996):
GPOWER: A general power analysis program. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*; 28: 1-11
- EKSTRAND, QVIST, THYLSTRUP (1987):
Light microscope study of the effect of probing in occlusal surfaces. *Caries research*. 21. 368–374.
- EKSTRAND, RICKETTS, KIDD (1997):
Reproducibility and accuracy of three methods for assessment of demineralization depth of the occlusal surface: an in vitro examination. *Caries research*. 31. 224–231.
- EKSTRAND, RICKETTS, KIDD (2001):
Occlusal caries: pathology, diagnosis and logical management. *Dental update*. 28. 380–387.
- EMILSON, ERICSON, HEYDEN, MAGNUSSON (1973):
Uptake of chlorhexidine to hydroxyapatite. *Journal of periodontal research. Supplement*. 12. 17–21.
- ESPELID, MEJÅRE, WEERHEIJM (2003):
Guidelines for use of radiographs in children. *European journal of paediatric dentistry: Official journal of European Academy of Paediatric Dentistry*. 4. 40-48.
- EUROPEAN COMMISSION (2004):
European guidelines on radiation protection in dental radiology. The safe use of radiographs in dental practice. *Radiation Protection*, 136.
- FAUL, ERDFELDER (1992):
GPower: A priori, post-hoc, and compromise power analyses for MS-DOS. 1992 (Computer program; Version 2.0). Universität Bonn, Fachbereich Psychologie
- FEIGAL (2002):
The use of pit and fissure sealants. *Pediatric dentistry*. 24. 415–422.
- FISCHER, LUSSI, HOTZ (1995):
Kariostatische Wirkungsmechanismen der Fluoride. Eine Übersicht. *Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin = Revue mensuelle suisse d'odonto-stomatologie = Rivista mensile svizzera di odontologia e stomatologia / SSO*. 105. 311–317.
- FOLWACZNY (1998):
Novum: Laserfluoreszenz zur Kariesdiagnose. *BZB*. 5/98. 6.
- FORSS, SAARNI, SEPPÄ (1994):
Comparison of glass-ionomer and resin-based fissure sealants: a 2-year clinical trial. *Community dentistry and oral epidemiology*. 22. 21–24.
- FORSTEN, KARJALAINEN (1977):
Effect of a Ca(OH)₂ solution and a chlorhexidine based detergent on the microbial activity of human carious teeth. *Acta odontologica Scandinavica*. 35. 275–280.
- FRENTZEN, STRIEBE, ZIMMERMANN (2004):
Morphologische Zuordnung von laserinduzierten Fluoreszenzsignalen zu verschiedenen Karieszonen. *LaserZahnheilkunde*. 1. 7-12.

- GÄNGLER, ARNOLD (2005):
Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie. 66 Tabellen. [Bd. 4].
- GAITZSCH (2013):
Fluoreszenzoptische Untersuchung an versiegelten Zähnen. Dissertation, Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
- GEIßLER (2010):
Geißler S. Laserfluoreszenz zur Kariesdiagnostik in einer Kinderzahnarzt Praxis.BZB; 06: 65-67).
- GILLCRIST, VAUGHAN, PLUMLEE, WADE (1998):
Clinical sealant retention following two different tooth-cleaning techniques. Journal of public health dentistry. 58. 254–256.
- GJERMO, BONESVOLL, RÖLLA (1974):
Relationship between plaque-inhibiting effect and retention of chlorhexidine in the human oral cavity. Archives of oral biology. 19. 1031–1034.
- GOSTANIAN, SHEY, KASINATHAN, CACEDA, JANAL (2006):
An in vitro evaluation of the effect of sealant characteristics on laser fluorescence for caries detection. Pediatric dentistry. 28. 445–450.
- GREENSTEIN, BERMAN, JAFFIN (1986):
Chlorhexidine. An adjunct to periodontal therapy. Journal of periodontology. 57. 370–377.
- GÜLZOW (1996):
Stellenwert und Bedeutung von Zahnpflegemitteln im Rahmen einer altersgerechten Oralprophylaxe. Oralprophylaxe 18 (1996), S. 108-113, Wetzel, W.E.: So können und so sollen Kleinkinder putzen. Zahnärztliche Mitteilungen 24, S. 38-42
- GWINNETT, RIPA (1973):
Penetration of pit and fissure sealants into conditioned human enamel in vivo. Archives of oral biology. 18. 435–439.
- HAFSTRÖM-BJÖRKMAN, SUNDSTRÖM, DE JOSSELIN, DE JONG, OLIVEBY, ANGMAR-MÅNSSON (1992):
Comparison of laser fluorescence and longitudinal microradiography for quantitative assessment of in vitro enamel caries. Caries research. 26. 241–247.
- HANDELMAN, WASHBURN, WOPPERER (1976):
Two-year report of sealant effect on bacteria in dental caries. Journal of the American Dental Association (1939). 93. 967–970.
- HANNIGAN, O'MULLANE, BARRY, SCHÄFER, ROBERTS (2000):
A caries susceptibility classification of tooth surfaces by survival time. Caries research. 34. 103–108.
- HARTLES, LEAVER (1953):
The fluorescence of teeth under ultraviolet irradiation. The Biochemical journal. 54. 632–638.
- HEIDEMANN, BECKER (2005):
Kariologie und Füllungstherapie. Elsevier, Urban & Fischer. Praxis der Zahnheilkunde, Bd. 2.
- HEINRICH-WELTZIEN, KÜHNISCH, SENKEL, STÖßER (1998):
Welchen Beitrag leistet die Fissurenversiegelung zur Zahngesundheit. Oralprophylaxe 20, S. 146-154.
- HEINRICH-WELTZIEN, KÜHNISCH. (1999):
Häufigkeit und Qualität der Fissurenversiegelung bei 8- und 14jährigen. Prophylaxe impuls 1 S. 6-14.
- HEINRICH-WELTZIEN, WEERHEIJM, KÜHNISCH, OEHME, STÖßER (2002):
Clinical evaluation of visual, radiographic, and laser fluorescence methods for detection of occlusal caries. ASDC journal of dentistry for children. 69. 127-32, 123.
- HEINRICH-WELTZIEN, KÜHNISCH, OEHME, WEERHEIJM, STÖßER (2003):
Okklusalkaries-Diagnostik - Ein Vergleich von Diagnostik mit konventionellen Methoden. Oralprophylaxe; 25: 77-80).
- HEINRICH-WELTZIEN, KÜHNISCH, IFLAND, TRANAEUS, ANGMAR-MÅNSSON, STÖßER (2005):

- Detection of initial caries lesions on smooth surfaces by quantitative light-induced fluorescence and visual examination: an in vivo comparison. *European journal of oral sciences*. 113. 494–498.
- HELFENSTEIN, STEINER (1994):
Fluoride varnishes (Duraphat): a meta-analysis. *Community dentistry and oral epidemiology*. 22. 1–5.
- HELLER, REED, BRUNER, EKLUND, BURT (1995):
Longitudinal evaluation of sealing molars with and without incipient dental caries in a public health program. *Journal of public health dentistry*. 55. 148–153.
- HELLWIG (1999):
Facetten der Prävention - mehr als nur die Vermeidung von Karies. *Zahnärztliche Mitteilungen* 20, S. 74-77
- HELLWIG, LENNON (2004):
Systemic versus topical fluoride. *Caries research*. 38. 258–262.
- HELLWIG, KLIMEK, ATTIN (2013):
Einführung in die Zahnerhaltung. Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie; mit 60 Tabellen.
- HETZ (1998):
Prophylaxe - ein lebenslanger Prozeß. *ZMK* 5, S. 30-35
- HETZER (1991):
Zur Speisesalzfluoridierung - aktueller Stand, Ergebnisse, Erfahrungen. *Deutsche Stomatologie* (Berlin, Germany). 41. 441–443.
- HEYFELDER (2010):
Untersuchungen zur Remineralisation von initialen Kariesläsionen an humanem Zahnschmelz mit CPP-ACP und 12500 ppm Fluorid in situ.
- HICKEL (1997):
Moderne Füllungswerkstoffe. *Dtsch. Zahnäztl. Z.*; 52: 572-585.
- HJELJORD, ROLLA, BONESVOLL (1973):
Chlorhexidine-protein interactions. *Journal of periodontal research*. Supplement. 12. 11–16.
- HOLMES, LYNCH (2003):
Occlusal Fissure Caries Using Ozone. *IADR Abstract*.
- HOSOYA, MATSUZAKA, INOUE, MARSHALL (2004):
Influence of tooth-polishing pastes and sealants on Diagnodent values. *Quintessence international* (Berlin, Germany : 1985). 35. 605–611.
- HUCH, JÜRGENS (2011):
Mensch Körper Krankheit. Urban & Fischer in Elsevier. 6. Auflage, ([www.mensch - koerper - krankheit.de](http://www.mensch-koeper-krankheit.de)).
- HUTH, JAKOB, SAUGEL, CAPPELLO, PASCHOS, HOLLWECK, HICKEL, BRAND (2006):
Effect of ozone on oral cells compared with established antimicrobials. *European journal of oral sciences*. 114. 435–440.
- IFLAND, KÜHNISCH, HEINRICHT-WELTZIEN (2004):
Die quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF). *ZWR* 113, 254-248.
- IRMISCH (1992):
Kariesprophylaxe mittels Fissurenversiegelung. *Dtsch Zahnärztl Z* 47, S. 790-793.
- IRMISCH, RÖSLER, RANGE (1997):
Häufigkeit und Retention von Fissuren- versiegelungen - eine Querschnittsstudie. *Dtsch Zahnärztl Z* 52 S. 190-192.
- JABLONSKI-MOMENI, HARTMAN, STOLL, PIEPER (2007):
Kariesprävalenz und Behandlungsbedarf bei 12-Jährigen in Marburg in den Jahren 2002 bis 2006. *Oralprophylaxe Kinderzahnheilkunde* 29, 161-164.

- JABLONSKI-MOMENI, LIEBEGALL, STOLL, HEINZEL-GUTENBRUNNER, PIEPER (2013):
Performance of a new fluorescence camera for detection of occlusal caries in vitro. *Lasers in Medical Science*. 28. 101–109.
- JÁGR, ECKHARDT, PATARIDIS, BROUKAL, DUŠKOVÁ, MIKŠÍK (2014):
Proteomics of human teeth and saliva. *Physiological research / Academia Scientiarum Bohemoslovaca*. 63 Suppl 1. S141-54.
- JERONIMUS, TILL, SVEEN (1975):
Reduced viability of microorganisms under dental sealants. *ASDC journal of dentistry for children*. 42. 275–280.
- JOHNSON (1995):
Uses of chlorhexidine in dentistry. *General dentistry*. 43. 126-32, 134-40.
- JUHL (1983):
Localization of carious lesions in occlusal pits and fissures of human premolars. *Scandinavian journal of dental research*. 91. 251–255.
- KEEM, ELBAUM (1997):
Wavelet representations for monitoring changes in teeth imaged with digital imaging fiber-optic transillumination. *IEEE transactions on medical imaging*. 16. 653–663.
- KEYES (1962):
Recent advances in dental caries research. Bacteriology, bacteriological findings and biological implications. *Int Dent J* 12: 443-464.
- KIDD, NAYLOR, WILSON (1992):
Prevalence of clinically undetected and untreated molar occlusal dentine caries in adolescents on the Isle of Wight. *Caries research*. 26. 397–401.
- KOMOROWSKI, GRAD, WU, FRIEDMAN (2000):
Antimicrobial substantivity of chlorhexidine-treated bovine root dentin. *Journal of endodontics*. 26. 315–317.
- KONIG (1963):
Dental morphology in relation to caries resistance with special reference to fissures as susceptible areas. *Journal of dental research*. 2. 461–476.
- KÖNIG, FLEMMING, HIBST (1998):
Laser-induced autofluorescence spectroscopy of dental caries. *Cellular and molecular biology (Noisy-le-Grand, France)*. 44. 1293–1300.
- KÖNIG (1966):
Findings in serially sectioned teeth showing early fissure lesions. *Advances in fluorine research and dental caries prevention*. 4. 73–79.
- KÖNIG (1993):
Role of fluoride toothpastes in a caries-preventive strategy. *Caries research*. 27 Suppl 1. 23–28.
- KÖNIG, SCHMID, SCHMID (1968):
An apparatus for frequency-controlled feeding of small rodents and its use in dental caries experiments. *Archives of oral biology*. 13. 13–26.
- KÖRBER (1980):
Zahnärztliche Prothetik. Thieme Verlag; Bd. 1.
- KRAMER, ZELANTE, SIMIONATO (1993):
The immediate and long-term effects of invasive and noninvasive pit and fissure sealing techniques on the microflora in occlusal fissures of human teeth. *Pediatric dentistry*. 15. 108–112.
- KRAUSE, BRAUN, FRENTZEN (2002):
Beeinflussung von Laser-Fluoreszenz-Messungen durch die Versiegelung von Fissuren. *DZZ (Suppl.)*, 23-24
- KRAUSE, BRAUN, FRENTZEN (2003):
The possibility of detecting subgingival calculus by laser-fluorescence in vitro. *Lasers in Medical Science*. 18. 32–35.

- KRAUSE (2008):
Fluoreszenzbasierte optische Methoden zur Kariesdetektion. *LaserZahnheilkunde*. 01/08. 13–19.
- KRAUSE, BRAUN, FRENTZEN, JEPSEN (2008):
Effects of composite fissure sealants on IR laser fluorescence measurements. *Lasers in Medical Science*. 23. 133–139.
- KÜHNER (1997):
Neue Fissurenversiegelung mit doppelter Wirksamkeit. *Zahnärztlicher Gesundheitsdienst* 2 S. 17-1.
- KÜHNISCH, GODDON (2003):
Die verfärbte Fissur und ihre Herausforderung an den Zahnarzt. *ZM*; 20: 48-53).
- KÜHNISCH, SENKEL, HEINRICH-WELTZIEN (2003):
Vergleichende Untersuchung zur Zahngesundheit von deutschen und ausländischen 8- bis 10-Jährigen des westfälischen Ennepe-Ruhr-Kreises. *Gesundheitswesen (Bundesverband der Ärzte des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (Germany))*. 65. 96–101.
- KÜHNISCH, TABATABAIE, VIERGUTZ, ZRAIKI, HETZER, STÖSSER, HEINRICH-WELTZIEN (2006):
Vergleichende In-vitro-Untersuchung von zwei Verfahren zur elektrischen Widerstandsmessung an nicht kavitierten Okklusalfächern. *Dtsch Zahnärztl Z*; 61: 131-136).
- KÜHNISCH, BÜCHER, HENSCHER, HICKEL (2007):
Reproducibility of Diagnodent 2095 and Diagnodent Pen measurements: results from an in vitro study on occlusal sites. *European journal of oral sciences*. 115. 206–211.
- KÜHNISCH, BÜCHER, HICKEL (2007a):
The intra/inter-examiner reproducibility of the new Diagnodent Pen on occlusal sites. *Journal of dentistry*. 35. 509–512.
- KÜHNISCH, DIETZ, STÖSSER, HICKEL, HEINRICH-WELTZIEN (2007b):
Effects of Dental Probing on Occlusal Surfaces – A Scanning Electron Microscopy Evaluation. *Caries Research*. 41. 43–48.
- KÜHNISCH, IFLAND, TRANAEUS, HICKEL, STÖSSER, HEINRICH-WELTZIEN (2007c):
In vivo detection of non-cavitated caries lesions on occlusal surfaces by visual inspection and quantitative light-induced fluorescence. *Acta odontologica Scandinavica*. 65. 183–188.
- KÜHNISCH, REICHL, HICKEL, HEINRICH-WELTZIEN (2010):
Leitlinie Fissuren- und Grübchenversiegelung. *Langfassung*. 1-69.
- KÜNZEL, FISCHER, LORENZ, BRÜHMANN (2000):
Decline of caries prevalence after the cessation of water fluoridation in the former East Germany. *Community dentistry and oral epidemiology*. 28. 382–389.
- LAGERWEIJ, VAN DER VEEN, ANDO, LUKANTSOVA, STOOKEY (1999):
The Validity and Repeatability of Three Light-Induced Fluorescence Systems: An in vitro Study. *Caries Research*. 33. 220–226.
- LAKOWICZ (2006):
Principles of fluorescence spectroscopy. Springer. Third Edition
- LAURISCH (2007):
Gratwanderung Kariesdiagnostik: invasiv oder präventiv? *Dtsch Zahnärztl Z* 62, 206-212.
- LEHMANN, HELLWIG, LEHMANN-HELLWIG (2002):
Einführung in die zahnärztliche Propädeutik. Urban & Fischer. 9. Auflage.
- LEHNEN (2004):
Die Mächtigkeit des Reizdentins bei unterschiedlichen Graden der Reduktion der Zahnhartsubstanzen. *Disseertation, Eberhart-Karls-Universität zu Tübingen*
- LEVINE (1977):
The aetiology of dental caries-an outline of current thought. *International dental journal*. 27. 341–348.
- LIN, ZUCKERMAN, WEISS, MAZOR, FUSS (2003):
Antibacterial efficacy of a new chlorhexidine slow release device to disinfect dentinal tubules. *Journal of endodontics*. 29. 416–418.

- LLODRA, BRAVO, DELGADO-RODRIGUEZ, BACA, GALVEZ (1993):
Factors influencing the effectiveness of sealants--a meta-analysis. *Community dentistry and oral epidemiology*. 21. 261–268.
- LÖE, SCHIOTT (1970):
The effect of mouthrinses and topical application of chlorhexidine on the development of dental plaque and gingivitis in man. *Journal of periodontal research*. 5. 79–83.
- LUDWIG (2005):
Lexikon der zahnmedizinischen Werkstoffkunde. Quintessenz Verlag.
- LUSSI (1991):
Validity of diagnostic and treatment decisions of fissure caries. *Caries research*. 25. 296–303.
- LUSSI (1993):
Comparison of different methods for the diagnosis of fissure caries without cavitation. *Caries research*. 27. 409–416.
- LUSSI (2000):
Laserinduzierte Fluoreszenz zur Erkennung der Okklusalkaries. *A c t a M e d D e n t H e l v*. 5. Heft 2, 15–19.
- LUSSI, FRANCESCUT (2003):
Performance of conventional and new methods for the detection of occlusal caries in deciduous teeth. *Caries research*. 37. 2–7.
- LUSSI, HELLWIG (2006):
Performance of a new laser fluorescence device for the detection of occlusal caries in vitro. *Journal of dentistry*. 34. 467–471.
- LUSSI, HIBST, PAULUS (2004):
Diagnodent: An Optical Method for Caries Detection. *Journal of Dental Research*. 83. C80–C83.
- LUSSI, HOTZ, STICH (1995):
Die Fissurenkaries. Diagnostik und therapeutische Grundsätze. *Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin = Revue mensuelle suisse d'odonto-stomatologie = Rivista mensile svizzera di odontologia e stomatologia / SSO*. 105. 1164–1173.
- LUSSI, IMWINKELRIED, PITTS, LONGBOTTOM, REICH (1999a):
Performance and reproducibility of a laser fluorescence system for detection of occlusal caries in vitro. *Caries research*. 33. 261–266.
- LUSSI, LONGBOTTOM, BRAIG, REICH (1999):
Clinical performance of the laser fluorescence system. *Diagnodent for detection of occlusal caries. Caries Res*; 33: 299
- LUSSI, MEGERT, LONGBOTTOM, REICH, FRANCESCUT (2001):
Clinical performance of a laser fluorescence device for detection of occlusal caries lesions. *European journal of oral sciences*. 109. 14–19.
- MÄKINEN (2003):
Der Einsatz von Xylit in der Kariesprophylaxe. *Konrad Lang, K.H. Bäessler, H. Förster, Michael Georgieff und anderen deutschen Wissenschaftlern gewidmet, deren grundlegende Arbeiten zu den heutigen Erkenntnissen über die Verstoffwechselung von Xylit im Menschen beigetragen haben.*
- MARTHALER (2004):
Changes in dental caries 1953-2003. *Caries research*. 38. 173–181.
- MARXKORS, MEINERS (2005):
Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde. Dt. Zahnärzte-Verlag, 5. Auflage.
- MEJÀRE, KÄLLESTÅL, STENLUND, JOHANSSON (1998):
Caries development from 11 to 22 years of age: a prospective radiographic study. Prevalence and distribution. *Caries research*. 32. 10–16.
- MEJÀRE, MJÖR (1990):
Glass ionomer and resin-based fissure sealants: a clinical study. *Scandinavian journal of dental research*. 98. 345–350.

- MEJÀRE, LINGSTRÖM, PETERSSON, HOLM, TWETMAN, KÄLLESTÅL, NORDENRAM, LAGERLÖF, SÖDER, NORLUND, AXELSSON, DAHLGREN (2003):
Caries-preventive effect of fissure sealants: a systematic review. *Acta odontologica Scandinavica*. 61. 321–330.
- MENDES, HISSADOMI, IMPARATO (2004):
Effects of drying time and the presence of plaque on the in vitro performance of laser fluorescence in occlusal caries of primary teeth. *Caries research*. 38. 104–108.
- MENZEL, DES BORDES (1974):
Die Brauchbarkeit des Kaltlichtes bei der Frühdiagnose der Karies im Vergleich zur klinischen und röntgenologischen Untersuchungsmethode. *Deutsche zahnärztliche Zeitschrift*. 29. 147–150.
- MERTE, RÖBLER, MERTE, ARNOLD, WIRTH-FLYNN (1995):
Kariesrisiko und Fissurenversiegelung. *Dtsch Zahnärztl Z* 50, S. 649–652.
- MERTZ-FAIRHURST, CURTIS, EGGLE, RUEGGERBERG, ADAIR (1998):
Ultraconservative and cariostatic sealed restorations: results at year 10. *Journal of the American Dental Association* (1939). 129. 55–66.
- MEURMAN (1988):
Ultrastructure, growth, and adherence of *Streptococcus mutans* after treatment with chlorhexidine and fluoride. *Caries research*. 22. 283–287.
- MITRA, WU, HOLMES (2003):
An application of nanotechnology in advanced dental materials. *Journal of the American Dental Association* (1939). 134. 1382–1390.
- NAGANO (1961):
Relationship between the form of pit and fissure and the primary lesion of caries. *Dent Abstr*. 6, 426
- NEWBRUN, BRUDEVOLD, MERMAGEN (1959):
A microradiographic evaluation of occlusal fissures and grooves. *Journal of the American Dental Association* (1939). 58. 26–31.
- NIKIFORUK (1985):
Understanding dental caries. Basic and clinical aspects. Karger, Basel
- NYVAD, MACHIULSKIENE, BÆLUM (1999):
Reliability of a New Caries Diagnostic System Differentiating between Active and Inactive Caries Lesions. *Caries Research*. 33. 252–260.
- OGAARD (1990):
Effects of fluoride on caries development and progression in vivo. *Journal of dental research*. 69 Spec No. 813-9; discussion 820-3.
- ORLAND, BLAYNEY, HARRISON, REYNIERS, TREXLER, ERVIN, GORDON, WAGNER (1955):
Experimental caries in germfree rats inoculated with enterococci. *Journal of the American Dental Association* (1939). 50. 259–272.
- ORLAND, BLAYNEY, HARRISON, REYNIERS, TREXLER, WAGNER, GORDON, LUCKEY (1954):
Use of the germfree animal technic in the study of experimental dental caries. I. Basic observations on rats reared free of all microorganisms. *Journal of dental research*. 33. 147–174.
- PAPADOPOULOS, CHRISTOU, CHRISTOU, ATHANASIOU, BOETTCHER, ZEILHOFER, SADER, PAPADOPULOS (2002):
Three-dimensional craniofacial reconstruction imaging. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 93. 382–393.
- PEARCE, LARSEN, COOTE (1999):
Fluoride in enamel lining pits and fissures of the occlusal groove-fossa system in human molar teeth. *Caries research*. 33. 196–205.
- PELTOLA, WOLF (1981):
Fibre optics transillumination in caries diagnosis. *Proceedings of the Finnish Dental Society. Suomen Hammaslääkäriseuran toimituksia*. 77. 240–244.

- PIEPER (1986):
Erste Erfahrungen mit einer neuentwickelten Kaltlicht-Diagnose-Sonde. ZWR. 95. 262–264.
- PIEPER (1995):
Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 1994. Gutachten. DAJ, Bonn.
- PIEPER (1996):
Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 1995. Gutachten. DAJ, Bonn.
- PIEPER (1997):
Epidemiologie der Gebisserkrankungen. Urban und Schwarzenberg, München.
- PIEPER (1998):
Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 1997. Gutachten. DAJ, Bonn.
- PIEPER (2001):
Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2000. Gutachten. DAJ, Bonn.
- PIEPER (2005):
Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2004. Gutachten. DAJ, Bonn.
- PIEPER (2010):
Epidemiologische Begleituntersuchung zur Gruppenprophylaxe. Gutachten. Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege e.V. (DAJ), Bonn.
- PIEPER, SCHULTE (2004):
The decline in dental caries among 12-year-old children in Germany between 1994 and 2000. Community dental health. 21. 199–206.
- PITTS (2001):
Clinical diagnosis of dental caries: a European perspective. Journal of dental education. 65. 972–978.
- PRETTY (2006):
Caries detection and diagnosis: novel technologies. Journal of dentistry. 34. 727–739.
- PSCHYREMBEL (2002):
Pschyrembel Klinisches Wörterbuch. (mit 280 Tabellen). De Gruyter Verlag, 259. Auflage.
- RICKETTS, KIDD, BEIGHTON (1995):
Operative and microbiological validation of visual, radiographic and electronic diagnosis of occlusal caries in non-cavitated teeth judged to be in need of operative care. British dental journal. 179. 214–220.
- RICKETTS, KIDD, WEERHEIJM, SOET (1997a):
Hidden caries: what is it? Does it exist? Does it matter? International dental journal. 47. 259–265.
- RICKETTS, KIDD, WILSON (1997b):
The effect of airflow on site-specific electrical conductance measurements used in the diagnosis of pit and fissure caries in vitro. Caries research. 31. 111–118.
- RICKETTS, , EKSTRAND, KIDD, LARSEN (2002):
Relating visual and radiographic ranked scoring systems for occlusal caries detection to histological and microbiological evidence. Operative dentistry. 27. 231–237.
- RIEBEN, KIELBASSA (2007):
<http://www.zwp-online.info/de/fachgebiete/dentalhygiene/prophylaxe/megatrend-prophylaxe-auf-du-und-du-mit-den-fluoriden> (abgerufen am 30.01.16)
- RIETHE (1988):
Langzeiterfahrungen mit kariesprophylaktischer Versiegelung. Deutsche zahnärztliche Zeitschrift. 43. 253–262.
- ROCK, ANDERSON (1982):
A review of published fissure sealant trials using multiple regression analysis. Journal of dentistry. 10. 39–43.

- ROCK, KIDD (1988):
The electronic detection of demineralisation in occlusal fissures. *British dental journal*. 164. 243–247.
- ROCK, WEATHERILL, ANDERSON (1990):
Retention of three fissure sealant resins. The effects of etching agent and curing method. Results over 3 years. *British dental journal*. 168. 323–325.
- RODRIGUES, HUG, DINIZ, LUSSI (2008):
Performance of fluorescence methods, radiographic examination and ICDAS II on occlusal surfaces in vitro. *Caries research*. 42. 297–304.
- ROHR, MAKINSON, BURROW (1991):
Pits and fissures: morphology. *ASDC journal of dentistry for children*. 58. 97–103.
- ROLFSEN (2009):
Korrelation des International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) zur okklusalen Kariesdiagnose mit Laserfluoreszenzmessungen. eine in-vitro studie. Dissertation, Philipps-Universität Marburg.
- RÖLLA, LÖE, SCHIOTT (1970):
The affinity of chlorhexidine for hydroxyapatite and salivary mucins. *Journal of periodontal research*. 5. 90–95.
- ROSEN (2010):
Korrelation des visuellen Diagnosesystems ICDAS-II für die okklusale Karies mit drei verschiedenen Verfahren der Fluoreszenzmessung – eine In-vitro-Studie. Dissertation, Philipps-Universität Marburg.
- ROULET, ZIMMER (2002):
Farbatlanten der Zahnmedizin. Thieme
- RÖNTGENVERORDNUNG (2013):
Verordnung über den schutz vor schaden durch Röntgenstrahlen.
- RUDOLPH (2005):
Effekt verschieden konzentrierter Aminfluoridgele auf die Remineralisation von Zahnschmelz in situ.
- SCHENK, KNOPF (2007):
Mundgesundheitsverhalten von Kindern und Jugendlichen in Deutschland. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*. 50. 653–658.
- SCHIFFNER (1995):
Mechanische und chemische Plaquereduktion. *Dtsch Zahnärztl Z* 50, S. 863-869.
- SCHIFFNER, HOFFMANN, KERSCHBAUM, MICHEELIS (2009):
Oral health in German children, adolescents, adults and senior citizens in 2005. *Community dental health*. 26. 18–22.
- SCHIOTT (1973):
Effect of chlorhexidine on the microflora of the oral cavity. *Journal of periodontal research*. Supplement. 12. 7–10.
- SCHIOTT, LÖE, JENSEN, KILIAN, DAVIES, GLAVIND (1970):
The effect of chlorhexidine mouthrinses on the human oral flora. *Journal of periodontal research*. 5. 84–89.
- SCHIPPER (2012):
Zur Sensitivität und Spezifität der digitalen Fluoreszenzkamera VistaProof für die Detektion der okklusalen Karies. Dissertation, Philipps Universität Marburg
- SCHMELZER (2000):
Zahnmedizinische Prävention für Kinder und Jugendliche. Einschätzung der Effektivität von Individualprophylaxeprogrammen zur Verbesserung der Mundgesundheit. Universität zu Bielefeld
- SCHNEIDER, GLÄSER (2011):
Grundwissen über Ozon und Ozonbehandlung© : http://www.zwp-online.info/archiv/pub/gim/zwp/2011/zwp0511/zwp0511_114_115_dentatec.pdf (abgerufen am 25.11.15)

- SCHNEIDERMAN, ELBAUM, SHULTZ, KEEM, GREENEBAUM, DRILLER (1997):
Assessment of dental caries with Digital Imaging Fiber-Optic Transillumination (DIFOTI): in vitro study. *Caries research*. 31. 103–110.
- SCHROEDER (1997):
Pathobiologie oraler Strukturen. Zähne, Pulpa, Parodont. Karger Verlag, 3. Auflage
- SCHROEDER (2000):
Orale Strukturbiologie. Entwicklungsgeschichte, Struktur und Funktion normaler Hart- und Weichgewebe der Mundhöhle und des Kiefergelenks. Thime, 5. Auflage
- SCHUMACHER (1990):
Anatomie und Biochemie der Zähne. Verl. Volk u. Gesundheit.
- SCHWEIZER (2011):
Kariesdetektion mit Hilfe der kamerabasierten Laserfluoreszenz-Technologie – eine in vitro-Studie. Med Diss Uni Bonn.
- SHEEHY, BRAILSFORD, KIDD, BEIGHTON, ZOITPOULOS (2001):
Comparison between visual examination and a laser fluorescence system for in vivo diagnosis of occlusal caries. *Caries research*. 35. 421–426.
- SHI, WELANDER, ANGMAR-MÅNSSON (2000):
Occlusal caries detection with KaVo Diagnodent and radiography: an in vitro comparison. *Caries research*. 34. 151–158.
- SILVERSTONE (1977):
Remineralization phenomena. *Caries research*. 11 Suppl 1. 59–84.
- SIMMONS, BARGHI, MUSCOTT (1976):
Thermocycling of pit and fissure sealants. *Journal of dental research*. 55. 606–610.
- SIMONSEN (2002):
Pit and fissure sealant: review of the literature. *Pediatric dentistry*. 24. 393–414.
- SMALES, WONG (1999):
2-year clinical performance of a resin-modified glass ionomer sealant. *American journal of dentistry*. 12. 59–61.
- SOUZA-ZARONI, CICCONE, SOUZA-GABRIEL, RAMOS, CORONA, PALMA-DIBB (2006):
Validity and reproducibility of different combinations of methods for occlusal caries detection: an in vitro comparison. *Caries research*. 40. 194–201.
- STRIPPEL (1997):
Individualprophylaxe: Fluorid-Anwendung, Mundhygiene und Fissurenversiegelung in der Zahnarztpraxis. Pressegespräch der Spitzenverbände der Krankenkassen Hamburg (09.09.1997).
- STÜBEL (1911):
The fluorescence of animal tissues by irradiation with ultraviolet light. *Arch GesPhysiol*;142:1–14.
- TAKAMORI, HOKARI, OKUMURA, WATANABE (2001):
Detection of occlusal caries under sealants by use of a laser fluorescence system. *Journal of clinical laser medicine & surgery*. 19. 267–271.
- TAM, MCCOMB (2001):
Diagnosis of occlusal caries: Part II. Recent diagnostic technologies. *Journal (Canadian Dental Association)*. 67. 459–463.
- TEN CATE, (1999):
Current concepts on the theories of the mechanism of action of fluoride. *Acta odontologica Scandinavica*. 57. 325–329.
- THEODORIDOU-PAHINI, TOLIDIS, PAPADOGIANNIS (1996):
Degree of microleakage of some pit and fissure sealants: an in vitro study. *International journal of paediatric dentistry / the British Paedodontic Society [and] the International Association of Dentistry for Children*. 6. 173–176.
- TONIOLI, BOUSCHLICHER, HILLIS (2002):
Laser fluorescence detection of occlusal caries. *American journal of dentistry*. 15. 268–273.

- TRANAEUS, SHI, LINDGREN, TROLLSÅS, ANGMAR-MÅNSSON (2002):
In vivo repeatability and reproducibility of the quantitative light-induced fluorescence method. *Caries research*. 36. 3–9.
- TRUIN, KÖNIG, BRONKHORST, MULDER (1994):
Caries prevalence amongst schoolchildren in The Hague between 1969 and 1993. *Caries research*. 28. 176–180.
- TRUMMLER, TRUMMLER (1989):
Erfahrungsbericht über Fissurenversiegelung. *Zahnärztliche Mitteilungen*. 79. 2472, 2474, 2476.
- TRUMMLER, TRUMMLER (1990):
Fissuren-versiegelung. Erfahrungsbericht über Fissurenversiegelung mit Helioseal mit einer Liegedauer bis zu 96 Monaten. *Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin = Revue mensuelle suisse d'odonto-stomatologie = Rivista mensile svizzera di odontologia e stomatologia / SSO*. 100. 60–65.
- VAN RIJKOM, TRUIN, VAN 'T HOF (1996):
A meta-analysis of clinical studies on the caries-inhibiting effect of chlorhexidine treatment. *Journal of dental research*. 75. 790–795.
- VERDONSCHOT, BRONKHORST, BURGERSDIJK, KÖNIG, SCHAEKEN, TRUIN (1992):
Performance of some diagnostic systems in examinations for small occlusal carious lesions. *Caries research*. 26. 59–64.
- VON DER FEHR, LÖE, THEILADE (1970):
Experimental caries in man. *Caries research*. 4. 131–148.
- WEERHEIJM, DE SOET, VAN AMERONGEN, GRAAFF (1992):
Sealing of occlusal hidden caries lesions: an alternative for curative treatment? *ASDC journal of dentistry for children*. 59. 263–268.
- WEERHEIJM, GRUYTHUYSEN, VAN AMERONGEN (1992):
Prevalence of hidden caries. *ASDC journal of dentistry for children*. 59. 408–412.
- WEERHEIJM, KIDD, GROEN (1997):
The effect of fluoridation on the occurrence of hidden caries in clinically sound occlusal surfaces. *Caries research*. 31. 30–34.
- WELBURY, RAADAL, LYGIDAKIS (2004):
EAPD guidelines for the use of pit and fissure sealants. *European journal of paediatric dentistry : official journal of European Academy of Paediatric Dentistry*. 5. 179–184.
- WENDT, KOCH (1988):
Fissure sealant in permanent first molars after 10 years. *Swedish dental journal*. 12. 181–185.
- WHO (2003):
WHO WHO INFORMATION SERIES ON SCHOOL HEALTH. DOCUMENT ELEVEN.
- WYATT, MACENTEE (2004):
Caries management for institutionalized elders using fluoride and chlorhexidine mouthrinses. *Community dentistry and oral epidemiology*. 32. 322–328.
- YOUNG (2002):
New caries detection technologies and modern caries management: merging the strategies. *General dentistry*. 50. 320–331.
- ZAURA-ARITE, SCHIOT (2000):
Effects of fluoride- and chlorhexidine-containing varnishes on plaque composition and on demineralization of dentinal grooves in situ. *European journal of oral sciences*. 108. 154–161.
- ZIMMER, BARTHEL, NOACK (1993):
Fluoridprophylaxe-eine Standort- bestimmung. *Zahnärztliche Mitteilungen* 5 S. 28-33 .

8. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abb.	Abbildung
Bis-GMA	Bisphenol-A-Glycidylmethacrylat
Bzw.	beziehungsweise
CCD	charge-coupled device (ladungsgekoppeltes Bauteil)
CHX	Chlorhexidin
D1	klinisch/röntgenologisch erkennbare Schmelzläsion mit intakter Oberfläche
D2	klinisch röntgenologisch erkennbare Schmelzkavitation
D3	klinisch/ röntgenologisch erkennbare Dentinkavitation
D4	Läsion mit Pulpabeteiligung
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Difoti	digitale fiberoptische Transillumination
ECM	Electrical Conductance Measurements
et. al.	et alia/ und andere
Foti	fiberoptische Transillumination
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
ICDAS	Das International Caries Detection and Assessment System
IP	Individualprophylaxe
Kap.	Kapitel
lat.	latein
MPa	Megapascal/ N/mm ²
NaCl	Natriumchlorid
o.g.	oben genannt/-e
s.	siehe
s.o.	siehe oben
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
t1	time 1: erster Zeitpunkt der Fluoreszenzmessungen
t2	time 2: zweiter Zeitpunkt der Fluoreszenzmessungen (nach Versiegelung)
t3	time 3: dritter Zeitpunkt der Fluoreszenzmessungen (nach Kausimulation)
TEGDMA	Triethylenglycoldimethacrylat
UDMA	dimethacrylat
v.a.	vor allem

9. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: unterer Molar mit erkennbaren Schichten, Anbindung an Nerven- und Gefäßnetz, sowie angedeuteter Fissur (Huch & Jürgens, Mensch Körper Krankheit 2011).	4
Abbildung 2: Kariesentstehungsmodell	6
Abbildung 3: verschiedene Möglichkeiten der Fissurenmorphologie	7
Abbildung 4: Diagnodent, KaVo Biberbach	17
Abbildung 5: Diagnodent Pen, KaVo Biberbach	19
Abbildung 6: Vista Cam iX, DÜRR Dental, Bietigheim-Bissingen, über USB Anschluss mit Lap Top verbunden.	21
Abbildung 7: Die Imaging Software DBSWIN ermöglicht anhand Farbskala und entsprechender numerischer Auswertung (0->3) eine Beurteilung der Kariestiefe am Bildschirm.	20
Abbildung 8: Versuchsdesign, Übersicht über praktischen Ablauf der Studie.	33
Abbildung 9 a & b: Reinigung der Zähne mit Scaler (a), Prophylaxebürstchen und Reinigungspaste (b).	32
Abbildung 10: 5 Beispiele für Markierungen der Messpunkte.	34
Abbildung 11 a & b: a) Kalibrieren des Diagnodent am dafür vorgesehenen Keramikstein, b) Fluoreszenzmessung an Zahnprobe	37
Abbildung 12 a & b: a) Fluoreszenzmessung mit der Vista Cam iX unter Nutzung des Abstandhalters, b) Fluoreszenzbild vor der Auswertung.	38
Abbildung 13: Zahnprobe Nr. 19 vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Kausimulation. Man sieht von links nach rechts jeweils eine normale Fotoaufnahme, eine Vista Cam iX Fluoreszenzaufnahme und die Auswertung mit der Software DDview.	39
Abbildung 14 a & b: a) Ätzen der Okklusalfäche 70% Orthophosphorsäure, b) entstandenes Ätzmuster	40
Abbildung 15 a & b: a) Mit der Sonde wird der Versiegler blasenfrei in der Fissur verteilt, b) Entfernen des Überschusses mit Schaumstoffpellet.	40
Abbildung 16 a & b: a) Fissurenversiegelung wird durch die Polymerisations-Lampe ausgehärtet, b) Politur der Versiegelung.	41
Abbildung 17 a & b: a) Eine Hirse-Hydroxylapatit-Suspension imitiert den Nahrungsmittelbrei im Kausimulator, b) gleichzeitig mehrere Zähne durchlaufen die künstliche Alterung. Die Folie um jeden Zahn hält die Suspension im Becher.	41
Abbildung 18: Erläuterung der Symbole aus Box-Plot-Diagrammen.	42
Abbildung 19: Mit dem Diagnodent Pen gemessene Fluoreszenzwerte zu Beginn, nach Versiegelung und nach künstlicher Alterung, Messwerte pro Gruppe n= 13.	43
Abbildung 20: Mit dem klassischen Diagnodent gemessene Fluoreszenzwerte zu Beginn, nach Versiegelung und nach künstlicher Alterung, Messwerte pro Gruppe n= 13.	44
Abbildung 21: Mittelwerte der gemessenen Fluoreszenzwerte mit der VistaCam iX zu Beginn, nach Versiegelung und nach künstlicher Alterung, Messwerte pro Gruppe n= 13.	46
Abbildung 22: Isolierte Fluoreszenzwerte für Messpunkt A mit der VistaCam iX zu Beginn, nach Versiegelung und nach künstlicher Alterung, Messwerte pro Gruppe n= 13.	47
Abbildung 23: Isolierte Fluoreszenzwerte für Messpunkt B mit der VistaCam iX zu Beginn, nach Versiegelung und nach künstlicher Alterung, Messwerte pro Gruppe n= 13.	48
Abbildung 24: Isolierte Fluoreszenzwerte für Messpunkt C mit der VistaCam iX zu Beginn, nach Versiegelung und nach künstlicher Alterung, Messwerte pro Gruppe n= 13.	49

10. TABELLENVERZEICHNISS

Tabelle 1: Ansatzpunkte zahnmedizinischer Prävention (König, 1993).	22
Tabelle 2: Mit Diagnodent und Diagnodent Pen ermittelte Fluoreszenzwerte für den experimentellen Versiegler (Control Seal) vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Alterung im Kausimulator.	80
Tabelle 3a & b: Mithilfe des Friedmanntests wurden die Messungen für das Control Seal auf statistisch relevante Unterschiede ($p < 0,05$) untersucht. Sowohl mit Diagnodent (b), als auch mit der Penversion (a) sind die Messunterschiede statistisch insignifikant. Zur Vollständigkeit sind immer Median-, Max.-, Min.-, Mittelwert, Standartabweichung und der Interquartilsabstand angegeben.	80
Tabelle 4: Mit Diagnodent und Diagnodent Pen ermittelte Fluoreszenzwerte für den Versiegler Delton opak vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Alterung im Kausimulator.	81
Tabelle 5a, b, c, d: Mithilfe des Friedmanntests wurden die Messungen für Delton opak auf statistisch relevante Unterschiede ($p < 0,05$) untersucht. Sowohl mit Diagnodent (b), als auch mit der Penversion (a) sind die Messunterschiede statistisch signifikant ($p < 0,05$) (rot hinterlegt). Im Wilcoxon-Test wurde veranschaulicht in welchem Teilabschnitt der Messungen, die relevanten Unterschiede bei Diagnodent (d) bzw. Diagnodent Pen (c) auftreten (rot hinterlegt). Zur Vollständigkeit sind immer Median-, Max.-, Min.-, Mittelwert, Standartabweichung und der Interquartilsabstand angegeben.	81
Tabelle 6: Mit Diagnodent und Diagnodent Pen ermittelte Fluoreszenzwerte für den Versiegler Fissurit vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Alterung im Kausimulator.	82
Tabelle 7a, b: Mithilfe des Friedmanntests wurden die Messungen für Fissurit auf statistisch relevante Unterschiede ($p < 0,05$) untersucht. Sowohl mit Diagnodent (b), als auch mit der Penversion (a) sind die Messunterschiede statistisch insignifikant. Zur Vollständigkeit sind immer Median-, Max.-, Min.-, Mittelwert, Standartabweichung und der Interquartilsabstand angegeben.	82
Tabelle 8: Mit Diagnodent und Diagnodent Pen ermittelte Fluoreszenzwerte für den Versiegler Delton klar vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Alterung im Kausimulator.	83
Tabelle 9a, b: Mithilfe des Friedmanntests wurden die Messungen für Delton klar auf statistisch relevante Unterschiede ($p < 0,05$) untersucht. Sowohl mit Diagnodent (b), als auch mit der Penversion (a) sind die Messunterschiede statistisch insignifikant. Zur Vollständigkeit sind immer Median-, Max.-, Min.-, Mittelwert, Standartabweichung und der Interquartilsabstand angegeben.	83
Tabelle 10: Mit Diagnodent und Diagnodent Pen ermittelte Fluoreszenzwerte für den Versiegler Fissurit Fx vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Alterung im Kausimulator.	84
Tabelle 11a, b: Mithilfe des Friedmanntests wurden die Messungen für das Fissurit auf statistisch relevante Unterschiede ($p < 0,05$) untersucht. Sowohl mit Diagnodent (b), als auch mit der Penversion (a) sind die Messunterschiede statistisch insignifikant. Zur Vollständigkeit sind immer Median-, Max.-, Min.-, Mittelwert, Standartabweichung und der Interquartilsabstand angegeben.	84
Tabelle 12 (oben): Mit der Vista Cam iX ermittelte Fluoreszenzwerte für das Control Seal vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Alterung im Kausimulator. Angegeben sind die Messwerte an den Punkten A, B, C und der daraus ermittelte Mittelwert.	85
Tabelle 13: Mithilfe des Friedmanntests wurden die VistaCam iX-Messungen für das Control Seal auf statistisch relevante Unterschiede ($p < 0,05$) untersucht. Hier sind die Messunterschiede sowohl für Mittelwert, als auch die einzelnen Messpunkte (A, B, C) statistisch insignifikant. Zur Vollständigkeit sind immer Median-, Max.-, Min.-, Mittelwert, Standartabweichung und der Interquartilsabstand angegeben.	85
Tabelle 14 (oben): Mit der Vista Cam iX ermittelte Fluoreszenzwerte für den Versiegler Delton opak vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Alterung im Kausimulator. Angegeben sind die Messwerte an den Punkten A, B, C und der daraus ermittelte Mittelwert.	86

Tabelle 15: des Friedmanntests wurden die VistaCam iX-Messungen für Delton opak auf statistisch relevante Unterschiede ($p < 0,05$) untersucht. Hier sind die Messunterschiede sowohl für Mittelwert, als auch die einzelnen Messpunkte (A, B, C) statistisch insignifikant. Zur Vollständigkeit sind immer Median-, Max., Min., Mittelwert, Standardabweichung und der Interquartilsabstand angegeben.	86
Tabelle 16 (oben): Mit der Vista Cam iX ermittelte Fluoreszenzwerte für den Versiegler Fissurit vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Alterung im Kausimulator. Angegeben sind die Messwerte an den Punkten A, B, C und der daraus ermittelte Mittelwert.	87
Tabelle 17a, b: Mithilfe des Friedmanntests wurden die VistaCam iX-Messungen für das Control Seal auf statistisch relevante Unterschiede ($p < 0,05$) untersucht. Hier sind die Messunterschiede sowohl für Mittelwert, als auch die einzelnen Messpunkte (B, C) statistisch insignifikant. An Messpunkt A lag ein relevanter Unterschied vor. Der Wilcoxon-Test zeigte den größten Messunterschied von den „präV.“- zu den „postV“-Proben. Zur Vollständigkeit sind immer Median-, Max., Min., Mittelwert, Standardabweichung und der Interquartilsabstand angegeben.	87
Tabelle 18 (oben): Mit der Vista Cam iX ermittelte Fluoreszenzwerte für den Versiegler Delton klar vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Alterung im Kausimulator. Angegeben sind die Messwerte an den Punkten A, B, C und der daraus ermittelte Mittelwert.	88
Tabelle 19: des Friedmanntests wurden die VistaCam iX-Messungen für Delton klar auf statistisch relevante Unterschiede ($p < 0,05$) untersucht. Hier sind die Messunterschiede sowohl für Mittelwert, als auch die einzelnen Messpunkte (A, B, C) statistisch insignifikant. Zur Vollständigkeit sind immer Median-, Max., Min., Mittelwert, Standardabweichung und der Interquartilsabstand angegeben.	88
Tabelle 20 (oben): Mit der Vista Cam iX ermittelte Fluoreszenzwerte für den Versiegler Fissurit Fx vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Alterung im Kausimulator. Angegeben sind die Messwerte an den Punkten A, B, C und der daraus ermittelte Mittelwert.	89
Tabelle 21a, b, c, d, e: Mithilfe des Friedmanntests wurden die VistaCam iX-Messungen für das Control Seal auf statistisch relevante Unterschiede ($p < 0,05$) untersucht. Hier sind die Messunterschiede sowohl für Mittelwert, als auch die einzelnen Messpunkte (A, B, C) statistisch signifikant ($p < 0,05$). Der Wilcoxon-Test zeigte für Mittelwert und auch für alle Messpunkte separat die größten Messunterschied von den „präV.“- sowohl zu den „postV“ als auch zu den „postKau“-Proben (b, c, d, e). Zur Vollständigkeit sind immer Median-, Max., Min., Mittelwert, Standardabweichung und der Interquartilsabstand angegeben.	89

11. MATERIALLISTE

- Delton DDS clear (Densply DeTrey, Konstanz)
- Delton opak (Densply DeTrey, Konstanz)
- Diagnodent KaVo Biberbach
- DiagnoDent pen 2190 (KaVo, Biberach)
- Fissurit® (VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland)
- Fissurit® Fx (VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland)
- Fotofilmdöschen
- Grünes Winkelstück (KaVo Dental GmbH, Biberach, Deutschland)
- Handscaler (Neville #2, Hu-Friedy)
- Spiegelreflexkamera
- NaCl-Lösung mit Natriumacid-Zusatz (0,9% NaCl + 0,001% Natriumazid)
- Nanopartikel-gefüllter Kontroll-Versiegler („control seal“) (VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland)
- Periphery wax (Heraeus)
- Phosphorsäure (37%), Total Etch; Ivoclar, Schaan, Liechtenstein)
- Polymerisations-Lampe, Smartlite focus LED (Densply DeTrey, Konstanz)
- Polierpaste (Zircate Prophy Paste, Densply De Trey)
- Prophylaxe-Bürstchen (Nylon-Kelch von HAGERMEISI)
- Vista Cam iX, DÜRR Dental, Bietigheim-Bissingen
- Zahnärztliche Sonde

12. DANKSAGUNG

Mein Dank gilt ganz besonders Herrn Prof. Dr. Andreas Braun für die Überlassung des Themas, die gute Betreuung, die Unterstützung bei der Durchführung, die fachliche Beratung bei der Erstellung der Arbeit sowie ihrer Korrektur.

Den Herren Dr. Franz-Josef Faber sowie Dr. Matthias Roggendorf und Dr. Hubert Roggendorfdanke ich für die Durchführung der Kausimulation am Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universitätsklinik Köln.

Ebenso danke ich Frau Grimmelbein aus dem Labor der Zahnklinik Marburg für die Bereitstellung von Materialien und die Lagerung der Proben.

Daniel Lymperopoulos danke ich für die gute Zusammenarbeit an dem Projekt und die tolle gemeinsame Zeit während der experimentellen Phase.

Vielen Dank an die Abteilung für Zahnerhaltung in Marburg für die Bereitstellung der Räumlichkeiten, sowie Verbrauchsmaterialien und Technik.

Besonders herzlicher Dank gilt meinen Eltern, die immer für mich da sind, mich uneingeschränkt unterstützen und mir meine Ausbildung ermöglicht haben.

13. VERZEICHNIS DER AKADEMISCHEN LEHRER

Bis einschließlich des fünften Fachsemesters waren meine akademischen Lehrer in Leipzig die Damen und Herren Professoren und Dozenten:

Donath, Eilers, Gebhardt, Hirsemann, Jackstat, Leiste, Löffler, Poeggel, Riha, Raßler, Träupmann, Zimmermann

Im klinischen Studienteil waren anschließend waren meine akademischen Lehrer in Marburg die Damen und Herren Professoren und Dozenten:

Arweiler, Braun, Cetin, Coca, Frankenberger, Gente, Jablonsky-Momeni, Korbmacher-Steiner, Lotzmann, Löffler, Mengel, Mittag, Mutters, Pieper, Richter, Roggendorf, Schwarting,

ANHANG

ANHANG I: MESSUNGEN MIT DIAGNODENT UND DIAGNODENT PEN

Messungen vor der Applikation der Versiegler				Messungen nach der Applikation der Versiegler				Messung nach Kausimulation			
Control Seal	DiagnoPen	Diagnodent		DiagnoPen	Diagnodent			DiagnoPen	Diagnodent		
5	81	84		99	99			99	99		
18	14	13		11	99			11	11		
21	13	12		11	11			60	65		
25	24	14		69	40			33	17		
66	22	19		27	18			40	29		
74	21	21		40	29			69	55		
85	58	62		69	55			32	30		
86	11	10		30	17			65	46		
91	29	33		90	93			41	18		
110	17	10		41	35			56	37		
113	35	34		78	37			99	99		
122	84	73		99	72			23	56		
133	42	38		23	99			9	10		
134	14	9		93	9			41	37		

Tabelle 2: Mit Diagnodent und Diagnodent Pen ermittelte Fluoreszenzwerte für den experimentellen Versiegler (Control Seal) vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Alterung im Kausimulator.

Control Seal	DiagnoPen				Diagnodent			
	81	99	99		84	99	99	
	14	11	11		13	99	11	
	13	11	60		12	11	65	
	24	69	33		14	40	17	
	22	27	40		19	18	29	
	21	40	69		21	29	55	
	58	69	32		62	55	30	
	11	30	65		10	17	46	
	29	90	41		33	93	18	
	17	41	56		10	35	37	
	35	78	99		34	37	99	
	84	99	23		73	72	56	
	42	23	9		38	99	10	
	14	93	41		9	9	37	
			p=0,67882				p=0,33721	
Median	23,0	55,0	41,0		20,0	38,5	37,0	
Maximum	84,0	99,0	99,0		84,0	99,0	99,0	
Minimum	11,0	11,0	9,0		9,0	9,0	10,0	
Mittelwert	33,2	55,7	48,4		30,9	50,9	43,5	
SA	24,5550514	33,02779382	28,14171359		25,08403459	34,86118469	28,99005134	
Interquartilsabstand	25,5	59,3	31,5		24,8	67,0	35,0	

Tabelle 3a & b: Mithilfe des Friedmanntests wurden die Messungen für das Control Seal auf statistisch relevante Unterschiede ($p < 0,05$) untersucht. Sowohl mit Diagnodent (b), als auch mit der Penversion (a) sind die Messunterschiede statistisch insignifikant. Zur Vollständigkeit sind immer Median-, Max., Min., Mittelwert, Standardabweichung und der Interquartilsabstand angegeben.

Messungen vor der Applikation der Versiegler				Messungen nach der Applikation der Versiegler			Messung nach Kausimulation		
Delton opak	DiagnoPen	Diagnodent		DiagnoPen	Diagnodent	Vista Proof	DiagnoPen	Diagnodent	
6	78	84		24	35		59	39	
11	25	18		13	11		12	16	
22	12	12		4	5		20	23	
43	13	14		7	6		12	15	
76	41	29		5	6		11	17	
78	29	38		4	6		18	16	
80	11	28		4	5		12	11	
99	19	20		6	7		22	19	
107	16	15		12	9		64	47	
108	49	49		10	14		16	18	
126	28	21		3	5		17	25	
128	11	13		8	6		20	21	
129	41	55		12	12		36	23	

Tabelle 4: Mit Diagnodent und Diagnodent Pen ermittelte Fluoreszenzwerte für den Versiegler Delton opak vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Alterung im Kausimulator.

Delton opak	DiagnoPen			Diagnodent			
	78	24	59	84	35	39	
	25	13	12	18	11	16	
	12	4	20	12	5	23	
	13	7	12	14	6	15	
	41	5	11	29	6	17	
	29	4	18	38	6	16	
	11	4	12	28	5	11	
	19	6	22	20	7	19	
	16	12	64	15	9	47	
	49	10	16	49	14	18	
	28	3	17	21	5	25	
	11	8	20	13	6	21	
	41	12	36	55	12	23	
			p=0,00019815			p=5,4003E-05	
Median	25,0	7,0	18,0	21,0	6,0	19,0	
Maximum	78,0	24,0	64,0	84,0	35,0	47,0	
Minimum	11,0	3,0	11,0	12,0	5,0	11,0	
Mittelwert	28,7	8,6	24,5	30,5	9,8	22,3	
SA	19,50805225	5,76683711	17,68057024	21,18810745	8,135865516	10,06962938	
Interquartilsabstand	28,0	8,0	10,0	23,0	5,0	7,0	

DiagnoPen	präV	postV	postKau	Diagnodent	präV	postV	postKau
präV		0,0003662	0,2513	präV		0,0003662	0,2367
postV	0,0003662		0,0006103	postV	0,0003662		0,0003662
postKau	0,2513	0,0006103		postKau	0,2367	0,0003662	

Tabelle 5a, b, c, d: Mithilfe des Friedmanntests wurden die Messungen für Delton opak auf statistisch relevante Unterschiede ($p < 0,05$) untersucht. Sowohl mit Diagnodent (b), als auch mit der Penversion (a) sind die Messunterschiede statistisch signifikant ($p < 0,05$) (rot hinterlegt). Im Wilcoxon-Test wurde veranschaulicht in welchem Teilabschnitt der Messungen, die relevanten Unterschiede bei Diagnodent (d) bzw. Diagnodent Pen (c) auftreten (rot hinterlegt). Zur Vollständigkeit sind immer Median-, Max-, Min-, Mittelwert, Standardabweichung und der Interquartilsabstand angegeben.

Messungen vor der Applikation der Versiegler				Messungen nach der Applikation der Versiegler			Messung nach Kausimulation		
Fissurit	DiagnoPen	Diagnodent		DiagnoPen	Diagnodent	Vista Proof	DiagnoPen	Diagnodent	
7	67	78		61	61		52	77	
23	28	35		27	26		12	11	
46	13	11		22	18		78	50	
60	36	11		16	9		8	9	
77	25	23		88	99		98	45	
82	12	12		10	8		14	9	
90	11	11		26	22		11	10	
104	18	17		20	18		24	24	
118	24	27		31	35		30	38	
121	11	15		50	24		17	9	
123	72	65		48	47		99	99	
127	37	49		63	60		36	45	
135	48	54		78	70		69	62	

Tabelle 6: Mit Diagnodent und Diagnodent Pen ermittelte Fluoreszenzwerte für den Versiegler Fissurit vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Alterung im Kausimulator.

Fissurit	DiagnoPen			Diagnodent		
	67	61	52	78	61	77
	28	27	12	35	26	11
	13	22	78	11	18	50
	36	16	8	11	9	9
	25	88	98	23	99	45
	12	10	14	12	8	9
	11	26	11	11	22	10
	18	20	24	17	18	24
	24	31	30	27	35	38
	11	50	17	15	24	9
	72	48	99	65	47	99
	37	63	36	49	60	45
	48	78	69	54	70	62
			p=0,44969			p=0,90714
Median	25,0	31,0	30,0	23,0	26,0	38,0
Maximum	72,0	88,0	99,0	78,0	99,0	99,0
Minimum	11,0	10,0	8,0	11,0	8,0	9,0
Mittelwert	30,9	41,5	42,2	31,4	38,2	37,5
SA	20,56478194	24,99538419	33,46601797	22,95843513	27,36224237	29,28200638
Interquartilsabstand	24,0	39,0	55,0	37,0	42,0	40,0

Tabelle 7a, b: Mithilfe des Friedmanntests wurden die Messungen für Fissurit auf statistisch relevante Unterschiede ($p < 0,05$) untersucht. Sowohl mit Diagnodent (b), als auch mit der Penversion (a) sind die Messunterschiede statistisch insignifikant. Zur Vollständigkeit sind immer Median-, Max., Min., Mittelwert, Standardabweichung und der Interquartilsabstand angegeben.

Messungen vor der Applikation der Versiegler				Messungen nach der Applikation der Versiegler			Messung nach Kausimulation		
Delton klar	DiagnoPen	Diagnodent		DiagnoPen	Diagnodent	Vista Proof	DiagnoPen	Diagnodent	
15	28	33		26	31		24	29	
19	99	99		50	80		74	65	
41	11	12		8	12		16	14	
52	35	44		34	34		23	26	
75	13	12		14	10		19	11	
81	25	28		22	24		15	15	
84	12	16		9	16		26	18	
89	17	20		20	15		15	17	
109	31	22		36	27		38	37	
115	11	15		4	6		8	8	
119	26	32		34	34		34	38	
124	16	18		79	42		27	32	
125	83	74		26	28		22	31	
131	44	45		78	73		76	75	

Tabelle 8: Mit Diagnodent und Diagnodent Pen ermittelte Fluoreszenzwerte für den Versiegler Delton klar vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Alterung im Kausimulator.

Delton klar	DiagnoPen				Diagnodent		
	28	26	24		33	31	29
	99	50	74		99	80	65
	11	8	16		12	12	14
	35	34	23		44	34	26
	13	14	19		12	10	11
	25	22	15		28	24	15
	12	9	26		16	16	18
	17	20	15		20	15	17
	31	36	38		22	27	37
	11	4	8		15	6	8
	26	34	34		32	34	38
	16	79	27		18	42	32
	83	26	22		74	28	31
	44	78	76		45	73	75
			p=0,98207				p=0,39803
Median	25,5	26,0	23,5		25,0	27,5	27,5
Maximum	99,0	79,0	76,0		99,0	80,0	75,0
Minimum	11,0	4,0	8,0		12,0	6,0	8,0
Mittelwert	32,2	31,4	29,8		33,6	30,9	29,7
SA	26,98768543	23,52973335	20,67394708		25,31862885	21,98900824	19,65638895
Interquartilsabstand	20,3	20,0	15,5		24,8	18,8	20,3

Tabelle 9a, b: Mithilfe des Friedmanntests wurden die Messungen für Delton klar auf statistisch relevante Unterschiede ($p < 0,05$) untersucht. Sowohl mit Diagnodent (b), als auch mit der Penversion (a) sind die Messunterschiede statistisch insignifikant. Zur Vollständigkeit sind immer Median-, Max-, Min-, Mittelwert, Standardabweichung und der Interquartilsabstand angegeben.

Messungen vor der Applikation der Versiegler				Messungen nach der Applikation der Versiegler			Messung nach Kausimulation		
Fissurit FX	DiagnoPen	Diagnodent		DiagnoPen	Diagnodent	Vista Proof	DiagnoPen	Diagnodent	
10	43	39		18	10		18	14	
71	17	17		18	17		20	16	
83	15	12		13	14		15	15	
88	33	33		19	24		35	32	
92	23	21		12	11		11	16	
93	12	13		20	25		25	23	
97	12	15		5	10		16	13	
105	92	86		34	46		24	26	
111	12	18		32	23		24	25	
112	42	32		42	47		99	99	
114	31	37		68	78		99	73	
117	78	74		37	40		54	59	
132	37	47		50	89		41	45	

Tabelle 10: Mit Diagnodent und DiagnoPen ermittelte Fluoreszenzwerte für den Versiegler Fissurit Fx vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Alterung im Kausimulator.

Fissurit FX	DiagnoPen				Diagnodent		
	43	18	18		39	10	14
	17	18	20		17	17	16
	15	13	15		12	14	15
	33	19	35		33	24	32
	23	12	11		21	11	16
	12	20	25		13	25	23
	12	5	16		15	10	13
	92	34	24		86	46	26
	12	32	24		18	23	25
	42	42	99		32	47	99
	31	68	99		37	78	73
	78	37	54		74	40	59
	37	50	41		47	89	45
			p=0,36262				p=0,987245
Median	31,0	20,0	24,0		32,0	24,0	25,0
Maximum	92,0	68,0	99,0		86,0	89,0	99,0
Minimum	12,0	5,0	11,0		12,0	10,0	13,0
Mittelwert	34,4	28,3	37,0		34,2	33,4	35,1
SA	25,30658169	17,7171509	29,90261973		23,29465659	25,78287048	26,76584122
Interquartilsabstand	27,0	19,0	23,0		22,0	32,0	29,0

Tabelle 11a, b: Mithilfe des Friedmanntests wurden die Messungen für das Fissurit auf statistisch relevante Unterschiede ($p < 0,05$) untersucht. Sowohl mit Diagnodent (b), als auch mit der Penversion (a) sind die Messunterschiede statistisch insignifikant. Zur Vollständigkeit sind immer Median-, Max., Min., Mittelwert, Standardabweichung und der Interquartilsabstand angegeben.

ANHANG II:MESSUNGEN MIT DER VISTA CAM IX

Messungen vor der Applikation der Versiegler					Messungen nach der Applikation der Versiegler				Messung nach Kausimulation			
Control Seal	A	B	C	Mittelwert	A	B	C	Mittelwert	A	B	C	Mittelwert
5	1,5	1,54	1,61	1,55	1,51	1,6	1,78	1,63	1,43	1,55	1,76	1,58
18	1,32	1,15	1,38	1,283333333	1,25	1,28	1,47	1,333333333	1,07	1,21	1,25	1,176666667
21	1,38	1,26	1,32	1,32	1,05	1,06	1,05	1,053333333	1,56	1,57	1,55	1,56
25	0,94	0,92	0,93	0,93	0,81	0,79	0,72	0,773333333	1,12	1,16	1,07	1,116666667
66	0,9	0,94	0,93	0,923333333	1,15	1,12	1,15	1,14	1,1	1,09	1,09	1,093333333
74	1,25	1,15	1,02	1,14	1,37	1,47	1,7	1,513333333	0,94	0,93	0,87	0,913333333
85	2,1	2,5	1,9	2,166666667	1,6	1,8	1,6	1,666666667	1,2	1,7	1,2	1,366666667
86	1	0,93	1	0,976666667	0,8	0,87	0,8	0,823333333	1,08	1	1	1,026666667
91	1,39	0,9	1,2	1,163333333	1,4	1,1	1,2	1,233333333	1,3	1,1	1,18	1,193333333
110	0,8	0,76	0,8	0,786666667	1,1	1,04	1,08	1,073333333	1,06	1,1	1,1	1,086666667
113	2	1,66	1,65	1,77	1,43	1,3	1,44	1,39	1,4	1,4	1,3	1,366666667
122	1,9	1,82	1,8	0,786666667	1,36	1,56	1,5	1,473333333	1,3	1,5	1,5	1,433333333
133	1,63	1,73	1,7	1,77	1,4	1,34	1,3	1,346666667	1,3	1,02	1,13	1,15
134	0,73	0,74	0,7	1,84	0,99	1,02	1,07	1,026666667	1,13	1,01	1,05	1,063333333

Tabelle 12 (oben): Mit der Vista Cam iX ermittelte Fluoreszenzwerte für das Control Seal vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Alterung im Kausimulator. Angegeben sind die Messwerte an den Punkten A, B, C und der daraus ermittelte Mittelwert.

Control Seal	CS Mittelwert			CS A	CS B	CS C
	1,6	1,6	1,6	1,5	1,6	1,8
	1,3	1,3	1,2	1,2	1,3	1,5
	1,3	1,1	1,6	1,4	1,1	1,6
	0,9	0,8	1,1	0,9	0,8	1,1
	0,9	1,1	1,1	0,9	1,1	1,1
	1,1	1,5	0,9	1,3	1,5	0,9
	2,2	1,7	1,4	2,1	1,8	1,7
	1,0	0,8	1,0	1,0	0,9	1,0
	1,2	1,2	1,2	1,4	1,1	1,2
	0,8	1,1	1,1	0,8	1,0	1,1
	1,8	1,4	1,4	2,0	1,3	1,3
	0,8	1,5	1,4	1,9	1,6	1,5
	1,8	1,3	1,2	1,6	1,3	1,1
	1,8	1,0	1,1	0,7	1,0	1,1
		p=0,79344			p=0,81956	p=0,61381
Median	1,2	1,283333333	1,163333333	1,4	1,2	1,155
Maximum	2,2	1,666666667	1,58	2,1	1,8	1,76
Mittelwert	1,3	1,248333333	1,223333333	1,3	1,23	1,217857143
SA	0,43846413	0,279351355	0,20409902	0,445623406	0,251854659	0,397373243
Interquartilsabstand	0,8	0,394166667	0,278333333	0,3	0,3375	0,321456165

Tabelle 13: Mithilfe des Friedmanntests wurden die VistaCam iX-Messungen für das Control Seal auf statistisch relevante Unterschiede ($p < 0,05$) untersucht. Hier sind die Messunterschiede sowohl für Mittelwert, als auch die einzelnen Messpunkte (A, B, C) statistisch insignifikant. Zur Vollständigkeit sind immer Median-, Max-, Min-, Mittelwert, Standardabweichung und der Interquartilsabstand angegeben.

Messungen vor der Applikation der Versiegler					Messungen nach der Applikation der Versiegler				Messung nach Kausimulation			
Delton opak	A	B	C	Mittelwert	A	B	C	Mittelwert	A	B	C	Mittelwert
6	2,03	1,66	1,82	1,836666667	1,26	1,3	1,31	1,29	1,1	1,19	1,25	1,18
11	1,1	1,17	1,2	1,156666667	0,79	0,92	0,99	0,9	0,8	0,9	0,89	0,863333333
22	0,7	0,7	0,69	0,696666667	0,73	0,74	0,73	0,733333333	0,68	0,67	0,65	0,666666667
43	1,4	1,2	1,1	1,233333333	1,3	1,05	1,08	1,143333333	1,08	0,99	1,2	1,09
76	1,01	1,03	0,99	1,01	0,9	0,74	0,75	0,796666667	1,2	1,12	1,2	1,173333333
78	0,8	0,65	0,7	0,716666667	0,69	0,69	0,69	0,69	1,1	1,03	1,02	1,2
80	0,7	0,74	0,73	0,723333333	1,05	1,03	1,05	1,043333333	1,02	1,01	1,01	1,013333333
99	0,69	0,68	0,67	0,68	0,76	0,79	0,81	0,786666667	1,09	1,13	1,1	1,106666667
107	1,24	0,97	1,22	1,143333333	0,97	0,93	0,86	0,92	0,69	0,71	0,63	0,676666667
108	1,38	1,5	1,55	1,476666667	0,92	0,94	0,9	0,92	0,88	0,88	0,89	0,883333333
126	0,73	0,72	0,81	0,753333333	1	1	1	1	0,66	0,65	0,65	0,653333333
128	1,1	1,3	1,2	1,2	1	0,99	1,01	1	0,67	0,64	0,65	0,653333333
129	1,14	1,4	1,22	1,253333333	0,97	0,94	1,09	1	0,98	0,91	0,88	0,923333333

Tabelle 14 (oben): Mit der Vista Cam iX ermittelte Fluoreszenzwerte für den Versiegler Delton opak vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Alterung im Kausimulator. Angegeben sind die Messwerte an den Punkten A, B, C und der daraus ermittelte Mittelwert.

Delton opak	D opak Mittelwert				D opak A				D opak B				D opak C		
	1,8	1,3	1,2		2,03	1,26	1,1		1,66	1,3	1,19		1,82	1,31	1,25
	1,2	0,9	0,9		1,1	0,79	0,8		1,17	0,92	0,9		1,2	0,99	0,89
	0,7	0,7	0,7		0,7	0,73	0,68		0,7	0,74	0,67		0,69	0,73	0,65
	1,2	1,1	1,1		1,4	1,3	1,08		1,2	1,05	0,99		1,1	1,08	1,2
	1,0	0,8	1,2		1,01	0,9	1,2		1,03	0,74	1,12		0,99	0,75	1,2
	0,7	0,7	1,2		0,8	0,69	1,1		0,65	0,69	1,03		0,7	0,69	1,02
	0,7	1,0	1,0		0,7	1,05	1,02		0,74	1,03	1,01		0,73	1,05	1,01
	0,7	0,8	1,1		0,69	0,76	1,09		0,68	0,79	1,13		0,67	0,81	1,1
	1,1	0,9	0,7		1,24	0,97	0,69		0,97	0,93	0,71		1,22	0,86	0,63
	1,5	0,9	0,9		1,38	0,92	0,88		1,5	0,94	0,88		1,55	0,9	0,89
	0,8	1,0	0,7		0,73	1	0,66		0,72	1	0,65		0,81	1	0,65
	1,2	1,0	0,7		1,1	1	0,67		1,3	0,99	0,64		1,2	1,01	0,65
	1,3	1,0	0,9		1,14	0,97	0,98		1,4	0,94	0,91		1,22	1,09	0,88
			p=0,24408				p=0,20854				p=0,1221				p=0,30566
Median	1,3	0,9	0,923333333		1,1	0,97	0,98		1,0	0,94	0,91		1,1	0,99	0,89
Maximum	2,2	1,3	1,2		2,0	1,3	1,2		1,7	1,3	1,19		1,8	1,31	1,25
Minimum	0,4	0,7	0,653333333		0,7	0,69	0,66		0,7	0,69	0,64		0,7	0,69	0,63
Mittelwert	1,3	0,9	0,929487179		1,1	0,949230769	0,919230769		1,1	0,927692308	0,91		1,1	0,943846154	0,924615385
SA	0,58033985	0,167577851	0,214406356		0,384227497	0,186076218	0,197461454		0,344881994	0,163154009	0,19165942		0,353964724	0,175477371	0,227691875
Interquartilsabstand	0,8	0,2	0,43		0,5	0,21	0,4		0,6	0,21	0,32		0,5	0,24	0,45

Tabelle 15: des Friedmanntests wurden die VistaCam iX-Messungen für Delton opak auf statistisch relevante Unterschiede ($p < 0,05$) untersucht. Hier sind die Messunterschiede sowohl für Mittelwert, als auch die einzelnen Messpunkte (A, B, C) statistisch insignifikant. Zur Vollständigkeit sind immer Median-, Max-, Min-, Mittelwert, Standartabweichung und der Interquartilsabstand angegeben.

Messungen vor der Applikation der Versiegler					Messungen nach der Applikation der Versiegler					Messung nach Kausimulation				
Fissurit	A	B	C	Mittelwert	A	B	C	Mittelwert		A	B	C	Mittelwert	
7	1,54	1,37	1,35	1,42	1,45	1,45	1,6	1,5		1,21	1,51	1,38	1,366666667	
23	1,08	0,99	1,02	1,03	0,67	0,67	0,68	0,673333333		0,66	0,65	0,65	0,653333333	
46	1,5	1,4	1,3	1,4	1,2	1,1	1,2	1,1666		1,18	1,2	1,08	1,153333333	
60	1,04	1,04	1,03	1,036666667	0,68	0,69	0,7	0,69		1,02	1,04	1,05	1,036666667	
77	1,21	1,22	1,25	1,226666667	1,46	1,8	1,3	1,52		1,45	1,57	1,22	1,413333333	
82	0,75	0,81	0,83	0,796666667	1,17	1,08	1,09	1,113333333		1,15	1,05	1,02	1,073333333	
90	1,09	0,91	0,76	0,92	0,83	0,76	0,8	0,796666667		0,73	0,69	0,69	0,703333333	
104	1,1	0,9	0,76	0,92	1,2	1,1	1,08	1,126666667		1,05	1,1	1	1,05	
118	1,9	2	1,4	1,766666667	1,14	1,13	0,96	1,076666667		1,36	1,37	1,2	1,31	
121	0,94	0,98	0,92	0,946666667	1,05	1,06	1,01	1,04		0,66	0,66	0,66	0,66	
123	1,9	2	2,1	2	1,2	1,29	1,2	1,23		1,47	1,73	1,59	1,596666667	
127	1,5	1,9	1,8	1,733333333	1,4	1,4	1,3	1,366666667		1,4	1,5	1,38	1,426666667	
135	2,2	1,8	1,8	1,933333333	1,54	1,7	1,6	1,613333333		1,36	1,5	1,6	1,486666667	

Tabelle 16 (oben): Mit der Vista Cam iX ermittelte Fluoreszenzwerte für den Versiegler Fissurit vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Alterung im Kausimulator. Angegeben sind die Messwerte an den Punkten A, B, C und der daraus ermittelte Mittelwert.

Fissurit	F Mittelwert				F A				F B				F C			
	1,4	1,5	1,4		1,54	1,45	1,21		1,37	1,45	1,51		1,35	1,6	1,38	
	1,0	0,7	0,7		1,08	0,67	0,66		0,99	0,67	0,65		1,02	0,68	0,65	
	1,4	1,2	1,2		1,5	1,2	1,18		1,4	1,1	1,2		1,3	1,2	1,08	
	1,0	0,7	1,0		1,04	0,68	1,02		1,04	0,69	1,04		1,03	0,7	1,05	
	1,2	1,5	1,4		1,21	1,46	1,45		1,22	1,8	1,57		1,25	1,3	1,22	
	0,8	1,1	1,1		0,75	1,17	1,15		0,81	1,08	1,05		0,83	1,09	1,02	
	0,9	0,8	0,7		1,09	0,83	0,73		0,91	0,76	0,69		0,76	0,8	0,69	
	0,9	1,1	1,1		1,1	1,2	1,05		0,9	1,1	1,1		0,76	1,08	1	
	1,8	1,1	1,3		1,9	1,14	1,36		2	1,13	1,37		1,4	0,96	1,2	
	0,9	1,0	0,7		0,94	1,05	0,66		0,98	1,06	0,66		0,92	1,01	0,66	
	2,0	1,2	1,6		1,9	1,2	1,47		2	1,29	1,73		2,1	1,2	1,59	
	1,7	1,4	1,4		1,5	1,4	1,4		1,9	1,4	1,5		1,8	1,3	1,38	
	1,9	1,6	1,5		2,2	1,54	1,36		1,8	1,7	1,5		1,8	1,6	1,6	
			p=0,2967				p=0,01701				p=0,49863				p=0,30451	
Median	1,2	1,1	1,153333333		1,2	1,2	1,18		1,2	1,1	1,2		1,3	1,09	1,08	
Maximum	2,0	1,6	1,596666667		2,2	1,54	1,47		2,0	1,8	1,73		2,1	1,6	1,6	
Minimum	0,8	0,7	0,653333333		0,8	0,67	0,66		0,8	0,67	0,65		0,8	0,68	0,65	
Mittelwert	1,3	1,1	1,148461538		1,4	1,153076923	1,130769231		1,3	1,171538462	1,197692308		1,3	1,116923077	1,116923077	
SA	0,421466541	0,304222535	0,322268049		0,433236182	0,284645529	0,29244548		0,448704688	0,353973779	0,36912405		0,430979802	0,295927486	0,322887612	
Interquartilsabstand	0,8	0,3	0,376666667		0,5	0,35	0,34		0,8	0,34	0,46		0,5	0,34	0,38	

Fissurit	präv	postV	postKau
FA			
präv		0,09435	0,0216
postV	0,09435		0,4577
postKau	0,0216	0,4577	

Tabelle 17a, b: Mithilfe des Friedmanntests wurden die VistaCam iX-Messungen für das Control Seal auf statistisch relevante Unterschiede ($p < 0,05$) untersucht. Hier sind die Messunterschiede sowohl für Mittelwert, als auch die einzelnen Messpunkte (B, C) statistisch insignifikant. An Messpunkt A lag ein relevanter Unterschied vor. Der Wilcoxon-Test zeigte den größten Messunterschied von den „präV.“- zu den „postV“-Proben. Zur Vollständigkeit sind immer Median-, Max., Min., Mittelwert, Standardabweichung und der Interquartilsabstand angegeben.

Messungen vor der Applikation der Versiegler					Messungen nach der Applikation der Versiegler				Messung nach Kausimulation			
Delton klar	A	B	C	Mittelwert	A	B	C	Mittelwert	A	B	C	Mittelwert
15	1,2	1,4	1,3	1,3	0,87	1,05	1,01	0,976666667	1,08	1,42	1,27	1,256666667
19	2,4	2,3	2,4	2,366666667	2,2	1,76	2,2	2,053333333	1,18	1	1,03	1,07
41	0,78	0,72	0,72	0,74	0,74	0,74	0,77	0,75	1,06	1	1,05	1,036666667
52	1,42	1,42	1,42	1,42	1,2	1,37	1,33	1,3	1,33	1,46	1,46	1,416666667
75	1,6	1,9	1,9	1,8	1,04	1,06	1,02	1,04	1,3	1,33	1,3	1,31
81	0,93	0,89	0,91	0,91	0,78	0,79	0,83	0,8	1,1	1,05	1,09	1,08
84	0,7	0,69	0,99	0,793333333	1,1	1,07	1,4	1,19	0,65	0,61	0,7	0,653333333
89	1,18	1,4	1,1	1,226666667	1,2	1,11	1,18	1,163333333	1,01	0,97	1,14	1,04
109	1,52	1,42	1,37	1,436666667	1,25	1,09	1,18	1,173333333	1,01	0,97	1,14	1,04
115	1,01	0,88	0,84	0,91	1,07	1,09	1,06	1,073333333	1,1	1,05	1,01	1,053333333
119	1,53	1,51	1,37	1,47	1,25	1,23	1,25	1,243333333	1,17	1,18	1,18	1,176666667
124	1,2	1,4	1,4	1,333333333	1,56	1,55	1,73	1,613333333	1,64	1,7	1,14	1,493333333
125	1,3	1,2	1,2	1,233333333	1,25	1,16	1,04	1,15	0,82	0,75	0,7	0,756666667
131	1,4	1,42	1,52	1,446666667	1,4	1,28	1,31	1,33	1,2	1,13	1,06	1,13

Tabelle 18 (oben): Mit der Vista Cam iX ermittelte Fluoreszenzwerte für den Versiegler Delton klar vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Alterung im Kausimulator. Angegeben sind die Messwerte an den Punkten A, B, C und der daraus ermittelte Mittelwert.

Delton klar	D klar Mittelwert				D klar A		D klar B		D klar C
	1,3	1,0	1,3		1,2	0,87	1,05	1,42	1,3
	2,4	2,1	1,1		2,4	2,2	1,76	1	2,4
	0,7	0,8	1,0		0,78	0,74	0,74	1	0,72
	1,4	1,3	1,4		1,42	1,2	1,37	1,46	1,42
	1,8	1,0	1,3		1,6	1,04	1,33	1,33	1,9
	0,9	0,8	1,1		0,93	0,78	1,05	1,05	0,91
	0,8	1,2	0,7		0,7	1,1	0,61	0,61	0,99
	1,2	1,2	1,0		1,18	1,2	1,11	0,97	1,1
	1,4	1,2	1,0		1,52	1,25	1,09	0,97	1,37
	0,9	1,1	1,1		1,01	1,07	1,09	1,05	0,84
	1,5	1,2	1,2		1,53	1,25	1,23	1,18	1,37
	1,3	1,6	1,5		1,2	1,56	1,55	1,7	1,4
	1,2	1,2	0,8		1,3	1,25	1,16	0,75	1,2
	1,4	1,3	1,1		1,4	1,4	1,28	1,13	1,52
			p=0,36975					p=0,44164	
Median	1,3	1,2	1,1		1,3	1,2	1,1	1,1	1,3
Maximum	2,4	2,1	1,5		2,4	2,2	1,7	1,7	2,4
Minimum	0,7	0,8	0,7		0,7	0,7	0,6	0,6	0,7
Mittelwert	1,3	1,2	1,1		1,3	1,2	1,1	1,1	1,3
SA	0,425551427	0,326549373	0,225588364		0,42166663	0,36433667	0,232119948	0,286912323	0,438062668
Interquartilsabstand	0,5	0,2	0,2		0,4	0,2	0,2	0,3	0,4

Tabelle 19: des Friedmanntests wurden die VistaCam iX-Messungen für Delton klar auf statistisch relevante Unterschiede ($p < 0,05$) untersucht. Hier sind die Messunterschiede sowohl für Mittelwert, als auch die einzelnen Messpunkte (A, B, C) statistisch insignifikant. Zur Vollständigkeit sind immer Median-, Max., Min., Mittelwert, Standartabweichung und der Interquartilsabstand angegeben.

Messungen vor der Applikation der Versiegler					Messungen nach der Applikation der Versiegler					Messung nach Kausimulation				
Fissurit FX	A	B	C	Mittelwert	A	B	C	Mittelwert		A	B	C	Mittelwert	
10	1,13	1,06	1,1	1,096666667	1,05	1,06	1,08	1,063333333		0,7	0,69	0,66	0,683333333	
71	1,34	1,23	1,27	1,28	0,88	0,84	0,84	0,853333333		1,06	1,07	1,04	1,056666667	
83	0,72	0,69	0,72	0,71	0,83	0,84	0,84	0,836666667		1,06	1,07	1,04	1,056666667	
88	1,21	0,94	0,91	1,02	1,27	1,19	1,25	1,236666667		0,82	0,78	0,79	0,796666667	
92	1,2	1,3	1,4	1,3	0,67	0,67	0,7	0,68		0,67	0,7	0,69	0,686666667	
93	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,9	0,78	0,86		1,04	1,06	1,06	1,053333333	
97	1,1	1,2	1,2	1,166666667	1,07	1,05	1,04	1,053333333		1,03	1,03	1,03	1,03	
105	1,5	1,5	1,48	1,493333333	0,79	0,75	0,78	0,773333333		1,1	1,1	1,1	1,1	
111	1,18	1,2	1,3	1,226666667	0,79	0,79	0,73	0,77		0,69	0,64	0,67	0,666666667	
112	1,38	1,5	1,37	1,416666667	1,08	1,16	1,27	1,17		0,93	1,1	1,15	1,06	
114	1,6	1,7	1,7	1,666666667	1,03	1,05	1,03	1,036666667		1,2	1,3	1,28	1,26	
117	1,6	1,6	2,1	1,766666667	1,04	1,05	1,11	1,066666667		1,18	1,15	1,16	1,163333333	
132	0,83	1,05	1,22	1,033333333	0,78	0,8	0,85	0,81		1,1	1,17	1,22	1,163333333	

Tabelle 20 (oben): Mit der Vista Cam iX ermittelte Fluoreszenzwerte für den Versiegler Fissurit Fx vor Versiegelung, nach Versiegelung und nach Alterung im Kausimulator. Angegeben sind die Messwerte an den Punkten A, B, C und der daraus ermittelte Mittelwert.

Fissurit FX	F fx Mittelwert				F fx A		F fx B		F fx C	
	1,1	1,1	0,7		1,13	1,05	0,7	1,06	1,06	0,66
	1,3	0,9	1,1		1,34	0,88	1,06	1,23	0,84	1,04
	0,7	0,8	1,1		0,72	0,83	1,06	0,69	0,84	1,07
	1,0	1,2	0,8		1,21	1,27	0,82	0,94	1,19	0,78
	1,3	0,7	0,7		1,2	0,67	0,67	1,3	0,67	0,7
	1,2	0,9	1,1		1,2	0,9	1,04	1,2	0,9	1,06
	1,2	1,1	1,0		1,1	1,07	1,03	1,2	1,05	1,03
	1,5	0,8	1,1		1,5	0,79	1,1	1,5	0,75	1,1
	1,2	0,8	0,7		1,18	0,79	0,69	1,2	0,79	0,64
	1,4	1,2	1,1		1,38	1,08	0,93	1,5	1,16	1,1
	1,7	1,0	1,3		1,6	1,03	1,2	1,7	1,05	1,3
	1,8	1,1	1,2		1,6	1,04	1,18	1,6	1,05	1,15
	1,0	0,8	1,2		0,83	0,78	1,1	1,05	0,8	1,17
			p=0,013374				p=0,0084325			p=0,013463
Median	1,2	0,86	1,056666667		1,2	0,9	1,04	1,2	0,9	1,07
Maximum	1,8	1,236666667	1,26		1,6	1,27	1,2	1,7	1,19	1,3
Minimum	0,7	0,68	0,666666667		0,7	0,67	0,67	0,7	0,67	0,64
Mittelwert	1,3	0,939230769	0,982820513		1,2	0,936923077	0,967692308	1,2	0,934615385	0,989230769
SA	0,282054176	0,17323263	0,202442704		0,263470428	0,167400947	0,187267805	0,280729361	0,166814037	0,211796346
Interquartilsabstand	0,3	0,253333333	0,303333333		0,3	0,26	0,28	0,4	0,25	0,32

Tabelle 21a, b, c, d, e: Mithilfe des Friedmanntests wurden die VistaCam iX-Messungen für das Control Seal auf statistisch relevante Unterschiede ($p < 0,05$) untersucht. Hier sind die Messunterschiede sowohl für Mittelwert, als auch die einzelnen Messpunkte (A, B, C) statistisch signifikant ($p < 0,05$). Der Wilcoxon-Test zeigte für Mittelwert und auch für alle Messpunkte separat die größten Messunterschied von den „präV.“- sowohl zu den „postV“ als auch zu den „postKau“-Proben (b, c, d, e). Zur Vollständigkeit sind immer Median-, Max., Min., Mittelwert, Standartabweichung und der Interquartilsabstand angegeben.
